

Efeito da higienização do chorume na disponibilidade de nutrientes após aplicação como adubação de cobertura em hortícolas

Inês Catita Lamas Mestre Efigénia

Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em

Engenharia Agronómica

Orientador: Prof. Dr. David Figueiro

Júri:

Presidente: Doutora Elisabete Tavares Lacerda de Figueiredo Oliveira, Professora auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Vogais: Doutor David Paulo Figueiro, Professor auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa

Doutor Jorge Manuel Rodrigues Tavares, Professor adjunto convidado do Instituto Politécnico de Beja – Escola Superior Agrária

Agradecimentos

Quero agradecer, em primeiro lugar, ao Professor David Fangueiro por me ter proposto realizar a minha tese no âmbito de um projeto promissor e que em muito poderá vir a contribuir positivamente para a produção agrícola. Obrigada pelo acompanhamento e ensinamentos que sem dúvida me irão ajudar no meu futuro profissional.

De seguida quero agradecer ao Doutor Jorge Tavares pela paciência, auxílio e ensinamentos durante estes últimos meses, sem os quais não teria sido possível chegar ao final deste período de trabalho com o sentimento de orgulho e de missão cumprida.

À Karina, pois sem ela nada disto seria possível. Uma amiga que ganhei neste meu último ano no Instituto Superior de Agronomia e que em tudo me ajudou. Um muito obrigada por toda a dedicação, empenho e amizade.

Aos meus colegas de Laboratório (Engenheiro Miguel Martins, Joana Prado, Patrícia, Camila, Sr. Domingues), pois sempre se mostraram disponíveis para ajudar, qualquer que fosse a circunstância. Um obrigada especial também à Professora Mariana Mota pela disponibilidade e auxílio sempre que possível.

Às duas grandes amigadas que a faculdade me deu (Daniela e Laura), que estiveram lá sempre e me acompanharam durante todo este longo percurso. Dizem que as amigadas criadas na faculdade duram para a vida e estas duas sem dúvida quero guardar no meu coração. Um muito obrigada por tudo.

Aos meus amigos de sempre (Catarina, Inês, João, Afonso, Sofia), que apesar das nossas vidas terem tomado rumos diferentes nunca me desapontaram e estão sempre lá, para o que der e vier. Sete anos já lá vão e mais sete virão. Um obrigada muito especial a vocês. Um obrigada também à Débora e à Mafalda, que se tornaram também cruciais durante todo este percurso.

À minha família (mãe, pai, avós, irmão e João), pois sem ela nada disto faria sentido. Tenho a maior sorte do mundo em tê-los comigo pois são quem me faz querer ser mais e melhor todos os dias. Um obrigada eterno.

Ao Rúben, que se tornou muito importante na minha vida e que nestes últimos 2 meses de maior ansiedade se mostrou sempre compreensivo e paciente. Um obrigada muito especial.

Resumo

A aplicação de efluentes pecuários, nomeadamente o chorume, na agricultura é já uma prática muito antiga e que, hoje em dia, é cada vez mais recorrente. No entanto, são precisos alguns cuidados aquando da sua utilização com hortícolas uma vez que contém microorganismos patogénicos que poderão contaminar as plantas.

Assim, o presente trabalho teve como principal objetivo averiguar qual o efeito da higienização do chorume na disponibilidade de nutrientes após aplicação como adubação de cobertura em alfaces (*Lactuca sativa* L.). O ensaio foi realizado em vasos, onde foram testadas 5 modalidades de fertilização, tendo sido todas elas realizadas em triplicado: a aplicação de um fertilizante mineral, aplicação de chorume de suíno não tratado, chorume de suíno acidificado, chorume de suíno alcalinizado e chorume de suíno alcalinizado seguido de neutralização. No mesmo ensaio foram ainda medidas as emissões de amoníaco (NH_3), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O) provenientes das diferentes modalidades, de forma a detetar qual o impacto dos tratamentos nas emissões desses gases após a aplicação no solo.

No final do ensaio foi possível concluir que mesmo aplicando chorume contaminado, as plantas encontravam-se isentas de microorganismos patogénicos, indicando assim que a higienização poderá não ser necessária para a aplicação do chorume na adubação de hortícolas. Em termos de produção e utilização de nutrientes por parte das alfaces, a adubação mineral mostrou ser a modalidade de fertilização mais eficiente. A aplicação de chorume alcalinizado seguido de neutralização está posta de parte devido aos impactos ambientais negativos e baixas produções obtidas. O tratamento por alcalinização, apesar de provocar emissões de NH_3 , permitiu obter produções equivalentes ao chorume não tratado. O tratamento por acidificação, apesar de minimizar as emissões de amoníaco, foi o menos promissor para utilização do chorume em cobertura, uma vez que provocou a morte das alfaces.

Palavras-chave: chorume; higienização; alface; disponibilidade de nutrientes; emissões gasosas.

Abstract

The use of animal manure in agriculture is an old practice that declined with the development of mineral fertilizers but, nowadays, is becoming more popular. However, applying manure as fertilizer in horticulture requires some care since slurry contains pathogens which can contaminate crops.

Therefore, the aim of the present study was to investigate slurry's hygienization effect in nutrients' availability after its application as fertilizer in lettuce (*Lactuca sativa* L.) A plant pot experiment was performed, with the following treatments (3 replicates): a non-amended soil considered as control treatment; application of mineral fertilizer; application of untreated pig slurry; application of acidified pig slurry; application of pig slurry treated by alkalization and application of pig slurry treated by alkalization followed by neutralization. In parallel, ammonia (NH₃), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) emissions from each treatment were measured in order to verify the impact of each treatment on these gaseous emissions after the slurry application to the soil.

The results showed that even by applying not hygienized pig slurry, the lettuces were not contaminated, showing that hygienization may not be totally necessary in order to apply slurry as fertilizer. The mineral fertilization proved to be the most efficient treatment in terms of lettuce production. The pig slurry treated by alkalization followed by neutralization was the worst treatment due to its negative impact on the environment and its low production. The alkalization treatment, even though it contributed to high ammonia emissions, proved to be as efficient as the application of untreated pig slurry in terms of lettuce production. The acidified treatment proved to be the most efficient treatment in reducing ammonia emissions, but the less efficient treatment to apply as fertilizer, once its application led to lettuce death.

Keywords: slurry; hygienization; gaseous emissions; lettuce; nutrients's availability.

Índice

Agradecimentos	II
Resumo	III
Abstract	IV
Lista de Quadros	VIII
Lista de Figuras	X
1. Introdução.....	1
2. Revisão Bibliográfica	4
2.1 Horticultura.....	4
2.1.1 Panorama da Horticultura em Portugal.....	4
2.1.2 Alface (<i>Lactuca sativa</i> L.)	5
2.2 Nutrição Vegetal.....	5
2.2.1 Azoto.....	6
2.2.2 Outros Nutrientes	7
2.3 Suinicultura em Portugal	7
2.4 Efluentes Pecuários	9
2.4.1 Produção de chorume	9
2.4.2 Utilização de chorume como fertilizante orgânico.....	10
2.4.3 Limitações da utilização de chorume animal na actividade agrícola	11
2.4.3.1 Emissões de amoníaco	12
2.4.3.2 Emissões de gases com efeito de estufa.....	13
2.5 Higienização de chorume animal.....	14
2.5.1 Acidificação de chorume animal	15
2.5.2 Alcalinização de chorume animal	17
2.6 Aplicação de chorume animal em horticultura	18
3. Material e Métodos	20

3.1 Amostragem, armazenamento e caracterização do chorume	20
3.2 Testes de higienização	21
3.2.1 Acidificação de chorume	21
3.2.2 Alcalinização de chorume	22
3.3 Amostragem e caracterização físico-química do solo usado no ensaio	23
3.4 Instalação do ensaio em vasos com a alface	23
3.4.1 Modalidades consideradas	24
3.4.2 Preparação do ensaio em vasos com a alface	24
3.4.3 Adubação de cobertura	25
3.5 Medição de emissões gasosas	25
3.5.1 Amoníaco (NH_3)	25
3.5.2 Gases com efeito de estufa (GEE)	26
3.5.3 Perdas de carbono e azoto	28
3.6 Análise de plantas e solo no final do ensaio	29
3.6.1 Análise de plantas	29
3.6.2 Cálculo das exportações de nutrientes	29
3.6.3 Análise de solo	30
3.7 Análise Estatística	31
4. Resultados e Discussão	32
4.1 Higienização do chorume	32
4.1.1 Testes de Higienização	33
4.1.1.1 Acidificação	33
4.1.1.2 Alcalinização	34
4.1.2 Preparação do chorume aplicado no ensaio em vasos	35
4.2 Ensaio em vasos	41
4.2.1 Análise microbiológica das plantas	42

4.2.2 Produção de matéria verde e matéria seca	43
4.2.3 Concentração de nutrientes nas alfaces produzidas em cada modalidade.....	46
4.2.4 Exportação de nutrientes pela alface.....	49
4.3 Caracterização físico-química do solo ao longo do ensaio em vasos	50
4.4 Eficiência de utilização dos nutrientes	53
4.5 Emissões gasosas	55
4.5.1 Gases com efeito de estufa	55
4.5.2 Amoníaco (NH ₃)	61
4.6 Síntese de resultados.....	65
5. Conclusões.....	67
6. Referências Bibliográficas.....	68
7. Anexos.....	XII

Lista de Quadros

Quadro 1 - Área ocupada, em hectares, e produção, em toneladas, das principais hortícolas. Adaptado de INE (2019).....	4
Quadro 2 - Distribuição do efetivo suíno por região nacional em 2009 e 2019. Adaptado de INE (2011) e INE (2019).	8
Quadro 3 - Parâmetros de caracterização de chorume proveniente de uma suinicultura. Adaptado de Antezana et al. (2016).....	10
Quadro 4 - Caracterização do solo utilizado no ensaio em vasos (adaptado do boletim de análises fornecido pelo Laboratório de solos do ISA).....	23
Quadro 5 - Principais características determinadas nas duas amostras de chorume bruto (BrS1 e BrS2). Médias e desvio padrão de 3 repetições.....	32
Quadro 6 - Higienização através da acidificação de chorume de porco. Volume de ácido necessário para se atingir um valor de pH igual a 5,5, 5,0, 4,5 e 3,5. Médias e desvio padrão de 3 repetições.	33
Quadro 7 - Aditivos utilizados e diferenças de reação de cada um com o chorume....	34
Quadro 8 - Higienização através da alcalinização de chorume de porco. Volume de KOH necessário para se atingir um valor de pH igual a 9,0, 9,5, 10,0 e 11,0. Médias e desvio padrão de 3 repetições.	34
Quadro 9 - Quantidades de H ₂ SO ₄ e KOH aplicadas no chorume nos tratamentos de acidificação, alcalinização e alcalinização seguida de neutralização para posterior aplicação no ensaio em vasos, nas duas coberturas.	36
Quadro 10 - Principais características do chorume tratado e não tratado utilizado na 1. ^a cobertura. Para cada parâmetro analisado, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes (P < 0,05). Médias de 3 repetições.	37
Quadro 11 - Principais características do chorume tratado e não tratado utilizado na 2. ^a cobertura. Para cada parâmetro analisado, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes (P < 0,05). Médias de 3 repetições.	40
Quadro 12 - Massa de matéria verde (MV) das alfaces produzidas em cada modalidade no final do ensaio. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes (P < 0,05). Médias de 3 repetições.....	43

Quadro 13 - Massa de matéria seca (MS) das alfaces produzidas em cada modalidade no final do ensaio. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.....	44
Quadro 14 - Valores da concentração de macronutrientes na alface, expressos na matéria seca, no final do ensaio, por modalidade. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.	46
Quadro 15 - Exportação média de macronutrientes pela alfaces. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.	49
Quadro 16 - Valores de pH e CE no solo ao longo do ensaio, para cada modalidade. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.....	51
Quadro 17 - Valores de potássio e fósforo no solo ao longo do ensaio, expressos na matéria seca, para cada modalidade. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.	52

Lista de Figuras

Figura 1 – Esquematização das vantagens na utilização do chorume como fertilizante orgânico. Adaptado de INIAV (2015).	11
Figura 2 - Ciclo do azoto numa exploração agrícola. Adaptado de Sommer et al. (2006).	12
Figura 3 - Representação esquemática dos processos responsáveis pela produção de N ₂ O. Adaptado de Chadwick et al. (2011).	14
Figura 4 - Formação de espuma após aplicação de ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄).	22
Figura 5 - Aspeto geral do ensaio após instalação das alfaces.	24
Figura 6 - Aspeto geral dos equipamentos utilizados para medição de emissões de amoníaco.	26
Figura 7 - Aspeto geral dos equipamentos utilizados para medição de emissões de gases com efeito de estufa.	27
Figura 8 - As três repetições do tratamento de acidificação (em cima) e do tratamento de alcalinização seguida de neutralização (ao centro) dois dias após a 1. ^a cobertura e respetivas alfaces que acabaram por morrer, 6 dias após a cobertura.	42
Figura 9 - Alfaces no último dia de ensaio: Modalidade CT (A), Modalidade CM (B), Modalidade Br (C), Modalidade Ac (D), Modalidade Ne (E) e Modalidade AI (F).	45
Figura 10 - Défice de N nas alfaces expostas à modalidade CT.	47
Figura 11 - Efeito das diferentes modalidades testadas nas emissões de CH ₄ ao longo do ensaio. Os valores apresentados são médias de 3 repetições.	55
Figura 12 - Valores cumulativos das emissões de CH ₄ , para cada modalidade. Barras com letras diferentes são estatisticamente diferentes (P < 0,05). Médias de 3 repetições.	57
Figura 13 - Efeito das diferentes modalidades testadas nas emissões de N ₂ O ao longo do ensaio. Os valores apresentados são médias de 3 repetições.	58
Figura 14 - Valores cumulativos das emissões de N ₂ O, para cada modalidade. Barras com letras diferentes são estatisticamente diferentes (P < 0,05). Médias de 3 repetições.	60

Figura 15 - Efeito das diferentes modalidades testadas nas emissões de NH_3 . Os valores apresentados são médias de 3 repetições..... 62

Figura 16 - Valores cumulativos das emissões de NH_3 , para cada modalidade. Barras com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.
..... 64

1. Introdução

O aumento da população e o desenvolvimento económico de países emergentes tem como consequência a crescente procura e consequente produção de alimentos, nomeadamente carne e produtos lácteos (Comissão Europeia, 2018). Assim, a atividade agropecuária tem sofrido uma grande intensificação e concentração em determinadas áreas geográficas de forma a conseguir satisfazer as necessidades alimentares a nível mundial (Tilman et al., 2011). O grande problema que se coloca com o aumento desta atividade em sistemas intensivos, onde os animais estão estabulados, é o consequente aumento da produção de efluentes e a necessidade de se encontrar novas utilizações para os mesmos, uma vez que estes podem ter um impacto ambiental negativo caso não sejam utilizados de forma racional (Fangueiro et al., 2015a).

Os efluentes pecuários podem ser divididos em estrume e chorume, constituindo o teor de matéria seca o principal fator que os distingue, sendo este mais elevado no estrume comparativamente ao chorume (Fernandes, 2017).

No passado, a agricultura tradicional baseava-se na integração da pecuária com a agricultura em pequenas quintas familiares, onde o valor agronómico do estrume já era conhecido, sendo a única fonte de enriquecimento em nutrientes do solo (Martinez and Burton, 2003). A agricultura moderna trouxe não só um melhoramento a nível da eficiência de produção mas também a nível da sua especialização, fazendo com que surgisse uma separação entre pecuária e agricultura, trazendo assim o uso de fertilizantes minerais de forma a satisfazer as necessidades das culturas (Martinez e Burton, 2003).

A aplicação de chorume na actividade agrícola tem vindo a despertar o interesse de um número crescente de agricultores devido aos custos cada vez mais elevados dos fertilizantes minerais (Fangueiro et al., 2013). Uma vez que o chorume constitui uma fonte de nutrientes, tem-se vindo a apostar na sua utilização como complemento ou até mesmo como substituto dos fertilizantes minerais, permitindo reduzir os custos de produção e promovendo a reciclagem dos nutrientes (Fangueiro et al., 2018).

A sua aplicação na horticultura, mais concretamente na fertilização da alface, tem vindo a aumentar (Yuri et al., 2016). No entanto, esta prática só é viável após ser efetuado um tratamento ao chorume que permita a sua higienização, uma vez que este contém na sua composição microrganismos patogénicos, que colocam em risco a saúde pública (Martinez e Burton, 2003).

Diversos são os tratamentos hoje em dia utilizados na higienização do chorume, sendo a aplicação de aditivos químicos, de forma a alterar o pH do chorume, uma das práticas cada vez mais recorrentes (Ottoson et al., 2008). A aplicação destes aditivos tem sido testada não só na sua capacidade de eliminar/inibir os microrganismos patogénicos mas também no seu efeito na composição do chorume, nomeadamente na sua influência na disponibilidade de nutrientes, e nos benefícios que a sua utilização pode promover, uma vez que a aplicação de chorume nos solos agrícolas apresenta inúmeras desvantagens que precisam ser minimizadas. Perdas de azoto (N) através da volatilização do mesmo sob a forma de amoníaco (NH_3) e através da lixiviação de nitratos (NO_3^-) (Fangueiro et al., 2014), e emissões de gases com efeito de estufa como o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O) (Fangueiro et al., 2015d), constituem as principais desvantagens da aplicação deste efluente no solo.

O trabalho de investigação aqui apresentado insere-se no projeto CleanSlurry “Higienização de chorumes animais para potencial utilização em horticultura” (PTDC/ASP-SOL/28769/2017), financiado pela Fundação para Ciência e Tecnologia.

Várias foram as hipóteses que serviram de base a este trabalho. A primeira foi que a acidificação do chorume poderia eliminar os microrganismos patogénicos. Uma vez que já se demonstrou que este tratamento é eficaz na redução das emissões gasosas, nomeadamente, na redução das emissões de amoníaco (Fangueiro et al. (2015a, 2017)), este poderia igualmente constituir uma excelente solução de tratamento no que toca à valorização do chorume.

Outra das hipóteses colocadas foi a possibilidade de utilização da alcalinização como outra solução de higienização do chorume, uma vez que esta já demonstrou ser eficiente na higienização de lamas de estações de tratamento de águas residuais (ETAR) (Allievi et al., 1994; Ottoson et al., 2008). Ainda relativamente a este tratamento, colocou-se a hipótese de o mesmo contribuir para um aumento significativo das emissões de NH_3 , pelo que seria uma desvantagem a ser considerada.

Foi ainda colocada a hipótese do chorume higienizado servir de substituto ou complemento à adubação mineral.

O principal objetivo deste trabalho foi então verificar se o chorume higienizado seria passível de ser aplicado como adubação de cobertura em hortícolas, mais concretamente na alface. A principal razão para a escolha da alface para a realização do ensaio proposto para esta dissertação foi o facto de esta apresentar um ciclo vegetativo curto, permitindo assim tirar conclusões em relação ao seu comportamento, após exposição ao ensaio experimental, num curto espaço de tempo.

Para tal, tentou-se perceber, em primeiro lugar, se os tratamentos de higienização permitiam eliminar qualquer risco de contaminação microbiológica, nomeadamente, eliminar a presença de microorganismos patogénicos, como a *Escherichia coli*, do chorume. Posteriormente, comparou-se o valor agronómico do chorume não tratado e do chorume higienizado com a adubação mineral convencional.

Foi também avaliado o impacto dos diferentes tratamentos de higienização nas emissões de gases com efeito de estufa e amoníaco, após a sua aplicação no solo e ainda nas características do solo no fim do ensaio.

2. Revisão Bibliográfica

2.1 Horticultura

2.1.1 Panorama da Horticultura em Portugal

Em 2018, a área total agrícola destinada à produção de hortícolas foi de 33660 hectares (ha), tendo-se verificado um decréscimo de 1% na produção, em relação a 2017, situando-se esta nas 926,9 toneladas (INE, 2019). A evolução da área agrícola ocupada no período de 2016-2018 e respetiva produção das principais hortícolas, são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Área ocupada, em hectares, e produção, em toneladas, das principais hortícolas. Adaptado de INE (2019).

Hortícola	Ano	Área (ha)			Produção (t)		
		2016	2017	2018	2016	2017	2018
Tomate fresco		1375	1323	1367	95 642	97 205	103 654
Couve-brócolo		2554	2885	3238	30 512	37 060	36 894
Abóbora		2941	2946	2857	75 282	74 788	72 667
Cenoura		1886	2056	1720	95 673	92 034	91 566
Couve-repolho		3726	2689	2784	105 945	75 710	79 193
Alface		2181	2284	1934	51 988	56 345	45 219
Total		14 663	14 183	13 900	455 042	433 142	429 193

No Quadro 1 é possível observar que a alface ocupa apenas 1934 ha, com uma produção de 45219 toneladas. Outras hortícolas, como o tomate de indústria ou a cenoura, cujas produções atingiram as 103654 t e 91566 t em 2018, respetivamente, mostram potencial para serem igualmente estudadas face ao objetivo propostos nesta dissertação.

Segundo MADRP (2007), a produção de hortícolas, nomeadamente, a produção de alface, está concentrada na região do Ribatejo e Oeste, apresentando também grande impacto nas regiões do Alentejo e Beira Litoral. Nestas mesmas regiões, existe também uma forte concentração de explorações pecuárias, nomeadamente suiniculturas, que produzem grandes volumes de efluentes que poderiam ser utilizados como fonte de nutrientes na produção destas hortícolas.

2.1.2 Alface (*Lactuca sativa* L.)

A alface (*Lactuca sativa* L.) constitui uma das hortícolas com maior importância a nível mundial (Albornoz et al., 2019), uma vez que apresenta ciclos vegetativos de duração curta (45-60 dias) (Domingos Almeida, 2015), permitindo que haja produção da mesma durante todo o ano.

No entanto, é uma planta com elevadas exigências climáticas, bastante sensível a condições adversas, em especial em relação à temperatura (temperatura ótima entre os 15 e os 20 °C), humidade e pluviosidade (Gomes et al., 2005). Tem a capacidade de suportar baixa luminosidade e é caracterizada por apresentar um sistema radicular pouco ramificado e com um desenvolvimento muito superficial (Yuri et al., 2016), preferindo solos de textura média, frescos e bem drenados (Tavares, 1988), ricos em matéria orgânica e com boa disponibilidade de nutrientes (Yuri et al., 2016).

Segundo (Filgueira et al., 2003), o crescimento da alface é favorecido pela ocorrência de dias curtos e temperaturas amenas, sendo a sensibilidade a uma vasta gama de doenças e pragas uma das suas maiores limitações. É uma planta sensível à salinidade (Varenes, 2003), com exigências significativas em termos hídricos e bastante sensível à acidez, estando bem adaptada a solos com pH entre 6,8 e 7,0 (Tavares, 1988).

A alface responde muito bem à fertilização azotada, quer em termos de rendimento quer em termos de qualidade, uma vez que é constituída maioritariamente por folhas, sendo por isso a aplicação de grandes quantidades de fertilizantes azotados bastante comum nesta hortícola (Sylvestre et al., 2019). Contudo, a sua exposição a teores elevados de N pode levar à acumulação de nitratos (NO_3^-) nas folhas, impedindo que estas possam ser consumidas, de forma a evitar problemas de saúde pública (Albornoz et al., 2015).

Segundo Santos (2012), a quantidade a aplicar de azoto, fósforo (na forma de P_2O_5) e potássio (na forma de K_2O) é de 75-150 kg/ha, 30-60 kg/ha e 50-100 kg/ha, respetivamente, devendo a fertilização azotada ser realizada de forma fracionada (Domingos Almeida, 2015). No entanto, a resposta da alface à fertilização depende da cultivar, do solo e das condições climáticas (Sylvestre et al., 2019).

2.2 Nutrição Vegetal

A nutrição vegetal pode ser definida como “o conjunto de fenómenos através dos quais a planta retira do meio que a rodeia as substâncias que são necessárias ao seu

metabolismo e, como consequência, ao seu crescimento e produção”, constituindo estas substâncias os nutrientes vegetais (Santos, 2012).

Grande parte destes nutrientes encontram-se no solo, constituindo este uma das principais fontes dos mesmos para as plantas. No entanto, a disponibilidade de nutrientes existentes no solo para as plantas depende de fatores como o teor em água do solo, da taxa de crescimento das plantas, da atividade microbiológica e da quantidade de fertilizantes aplicados (Varennnes, 2003).

Os nutrientes são divididos em macronutrientes (aqueles cuja planta necessita e, consequentemente, absorve em maiores quantidades), dos quais são exemplo o azoto, o fósforo, o potássio, o magnésio, o cálcio e o enxofre, e em micronutrientes (aqueles que não deixam de ser importantes para as plantas mas que são absorvidos em menores quantidades e, por isso, podem tornar-se fitotóxicos quando absorvidos em excesso), dos quais são exemplo o cobre, o zinco, o ferro, o manganês e o boro (Santos, 2012).

Atualmente, a fertilização é feita em função das necessidades das plantas em nutrientes essenciais, constituindo o azoto o nutriente que é fornecido em maiores quantidades (Albornoz et al., 2019), sendo as recomendações de fertilização feitas com base nas necessidades, por parte das plantas, neste nutriente.

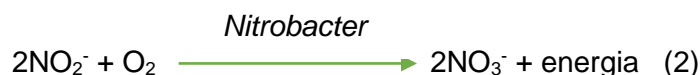
2.2.1 Azoto

O azoto (N) é um nutriente com grande impacto quer no rendimento quer na qualidade das plantas e, por isso, a quantidade a ser aplicada deve ser suficiente para assegurar as necessidades da planta mas nunca deve exceder essas necessidades, de forma a evitar problemas ambientais como a lixiviação de NO_3^- e/ou emissões gasosas (Fangueiro et al., 2009).

Segundo Varennnes (2003), cerca de 95% do azoto presente no solo encontra-se na forma orgânica, sendo necessário ocorrer mineralização do mesmo para que este passe à sua forma mineral e possa, posteriormente ser absorvido pelas plantas.

A mineralização corresponde à formação do ião amónio (NH_4^+), através de microrganismos heterotróficos presentes no solo que degradam a matéria orgânica (Santos, 2012), podendo, posteriormente, ser absorvido pelas plantas, ser utilizado no processo de nitrificação e/ou, parte dele, ser perdido por volatilização de amoníaco (NH_3) (Varennnes, 2003).

A nitrificação corresponde à formação de NO_3^- através de bactérias autotróficas presentes no solo, ocorrendo em duas fases (Equações 1 e 2) através da ação de microrganismos específicos, essencialmente bactérias (as *Nitrosomonas* na 1.^a fase e as *Nitrobacter* na 2.^a fase) (Santos, 2012).



2.2.2 Outros Nutrientes

A disponibilidade de cada nutriente no solo é variável, sendo importante que todos existam em equilíbrio entre si e nas quantidades certas para satisfazer as necessidades das plantas.

O fósforo (P), a seguir ao azoto, é o nutriente que mais compromete a produção aquando do seu défice no solo, estando presente no mesmo essencialmente sob formas pouco móveis, sendo a quantidade de P disponível para as plantas muitas vezes abaixo das necessidades das mesmas (Varennnes, 2003), sendo assim, necessário recorrer a fertilizantes.

No caso do potássio (K), o cenário é um pouco diferente uma vez que constitui um nutriente cujo teor no solo é bastante abundante, dependendo este mesmo teor, contudo, das características do solo considerado (Varennnes, 2003).

Relativamente aos micronutrientes, a absorção destes, por parte das plantas, é reduzida quando comparada com os macronutrientes e, por isso, a quantidade disponível dos mesmos no solo ou através da aplicação de fertilizantes deve ser tida em consideração, uma vez que a probabilidade de ocorrer excesso destes nutrientes é bastante elevada e difícil de ser corrigida (Santos, 2012).

2.3 Suinicultura em Portugal

A suinicultura constitui uma atividade com importante valor económico em Portugal, uma vez que, em termos de efetivo, se encontra em 3.^o lugar no setor pecuário (2,205 milhões

de animais), logo a seguir à avicultura (10,33 milhões de animais) e à ovinicultura (2,208 milhões de animais) (INE, 2019).

Em Portugal, a região do Ribatejo e Oeste desde sempre apresentou as maiores explorações de produção de suínos, com uma dimensão média de efetivo de 97,6 e 264,0 cabeças em 1999 e 2009, respetivamente (INE, 2011).

Ao longo das últimas décadas, tem-se verificado variações significativas na distribuição do efetivo suíno em Portugal Continental e nos Arquipélagos, encontrando-se no Quadro 2 esta mesma distribuição, referente ao período 2009-2019.

Quadro 2 - Distribuição do efetivo suíno por região nacional em 2009 e 2019. Adaptado de INE (2011) e INE (2019).

Região	Efetivo suíno – Nº x 1000 (2009)	Efetivo suíno - Nº x 1000 (2019)
Portugal	1913	2205
Entre Douro e Minho	54	51
Trás-os-Montes	24	16
Beira Litoral	393	369
Beira Interior	34	47
Ribatejo e Oeste	852	1158
Alentejo	474	508
Algarve	24	18
Açores	42	33
Madeira	17	4

No ano de 2019, é na região do Ribatejo e Oeste foi aquela onde se concentrou a maior parte do efetivo suíno (52,5%), seguida do Alentejo (23%) e Beira Litoral (16,7%) (INE, 2019).

Com o contínuo aumento do número de efetivos suínos e face ao aumento da população e consequente procura de alimentos (Tilman et al., 2011), é de esperar que a produção de dejetos animais, nomeadamente estrumes, seja mais elevada (Fangueiro et al., 2015a).

De forma a evitar a produção de um subproduto da atividade pecuária que apenas acarreta impactos negativos para o ambiente, aquando da sua não reutilização (Fangueiro et al., 2015a), atualmente nas suiniculturas, em especial no modo de produção intensivo, os efluentes são recolhidos, geralmente, na forma de chorume

(Martinez e Burton, 2003) e posteriormente aplicados nos solos agrícolas como fertilizantes (Fangueiro et al., 2013).

2.4 Efluentes Pecuários

Os efluentes pecuários incluem todos os resíduos provenientes da actividade agropecuária, nos quais estão incluídos os estrumes e os chorumes (Decreto-Lei 214-2008 de 10 de Novembro).

2.4.1 Produção de chorume

Segundo a Portaria nº631/2009 de 9 de Junho, o chorume é definido como “a mistura de fezes e urinas dos animais, bem como de águas de lavagem ou outras, contendo por vezes desperdícios da alimentação animal ou de camas e as escorrências provenientes de nitreiras e silos”.

Segundo Soares et al. (2019), é produzido, por ano, cerca de um bilião de toneladas de chorume na Europa, tornando-se assim tornado a gestão do mesmo uma das atividades centrais nas explorações pecuárias intensivas (Fangueiro et al., 2014).

A composição do chorume depende de alguns fatores, nomeadamente da espécie pecuária, da sua idade e para que fim é explorada bem como o seu regime alimentar, o material utilizado para as camas e a quantidade de água utilizada nas lavagens (MADRP 1997; Santos, 2012).

Na sua generalidade, o chorume de suíno apresenta menor teor de matéria orgânica comparativamente com chorumes provenientes de outras espécies, nomeadamente, o chorume de bovino. Isto deve-se a diversos fatores, sendo o mais importante o facto de, principalmente em Portugal, os cuidados sanitários nas suiniculturas obrigarem a um maior número de lavagens das instalações (Santos, 2012).

Segundo Fangueiro et al. (2015c), uma parte dos nutrientes fornecidos pelo chorume, em especial o azoto e o fósforo, encontram-se numa forma não disponível para as plantas. No caso do azoto, uma vez que grande parte deste nutriente está presente no chorume de suíno sob a sua forma orgânica (Fangueiro et al., 2009), este só se torna disponível para as plantas após mineralização (cerca de 80-90% do azoto orgânico é mineralizado), passando à forma de NH_4^+ (Santos, 2012).

2.4.2 Utilização de chorume como fertilizante orgânico

Cerca de 95% do chorume produzido nas explorações agrícolas portuguesas é aplicado como fertilizante orgânico (INE, 2009).

No entanto, a utilização eficiente do chorume como fertilizante exige um conhecimento aprofundado acerca das suas características físicas e químicas (Quadro 3), uma vez que o chorume constitui um material muito heterogéneo, cuja composição em alguns nutrientes (N, P, K) varia consoante o tipo de chorume (espécie), teor de matéria seca e tempo de armazenamento (Fangueiro et al., 2015c).

Quadro 3 - Parâmetros de caracterização de chorume proveniente de uma suinicultura. Adaptado de Antezana et al. (2016).

Parâmetros	Unidades	Efluente Bruto
pH (H ₂ O)	-----	7,4
Condutividade Elétrica (CE)	mS/cm	25,7
Matéria Seca (MS)	kg/m ³	57,1
Matéria Orgânica (MO)		43,5
Azoto Total (N _T)		6,0
Fósforo (P)		0,8
Potássio (K)		2,1
Cálcio (Ca)		1,1
Magnésio (Mg)		0,6
Sódio (Na)		0,5
Enxofre (S)		0,3
Cobre (Cu)	g/m ³	10,4
Zinco (Zn)		74,3
Boro (B)		2,1
Ferro (Fe)		73,8
Manganês (Mn)		24,4

Quando aplicado de forma adequada (quer em termos de quantidade aplicada quer em termos de época e técnicas utilizadas), o chorume pode ser aplicado nos solos agrícolas como fertilizante orgânico (MADRP, 1997), entendendo-se por este último todo o produto de origem vegetal ou animal que é aplicado ao solo com o objetivo de manter ou melhorar a nutrição das plantas (Decreto-Lei 103/2015 de 15 de Junho).

O chorume constitui uma fonte de nutrientes, essenciais ao crescimento das culturas (Fangueiro et al., 2009), e matéria orgânica (MO), fator este importante para manter ou

até mesmo melhorar a fertilidade e produtividade dos solos (Fangueiro et al., 2012), uma vez que no Sul da Europa estes são, na sua generalidade, muito pobres em MO (Jones et al., 2012). Os nutrientes estão igualmente presentes em pequenas concentrações, o que implica ter de se aplicar o chorume em quantidades mais elevadas (Santos, 2012).

Desta forma, e devido ao aumento do preço dos fertilizantes minerais e à necessidade de reutilizar os efluentes produzidos nas explorações pecuárias, os agricultores têm apostado cada vez mais na utilização de chorume animal na produção agrícola (Fangueiro et al., 2015c), permitindo assim a valorização deste efluente pecuário (Figura 1).

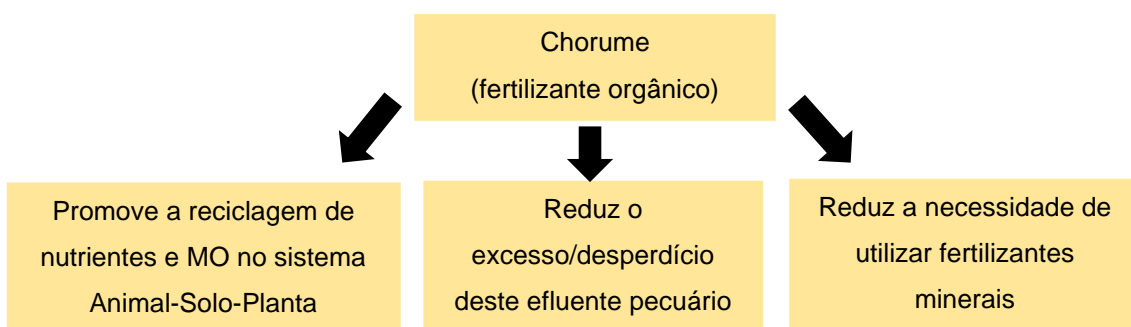


Figura 1 – Esquematização das vantagens na utilização do chorume como fertilizante orgânico. Adaptado de INIAV (2015).

2.4.3 Limitações da utilização de chorume animal na actividade agrícola

Devido às quantidades em que é produzido e devido à sua elevada carga poluente, o chorume produzido nas suiniculturas é aquele que, devido ao seu impacto ambiental, mais cuidados deve merecer aquando da sua utilização (Santos, 2012). Assim, a aplicação deste na atividade agrícola acarreta também impactos negativos, os quais devem ser minimizados.

Uma das limitações que se coloca com a utilização do chorume, importante e a ter em consideração, é a sua elevada concentração em fósforo (Santos, 2012). Uma vez que as recomendações de fertilização são, na grande maioria dos casos, feitas em função das necessidades das culturas em termos de azoto e não em função das necessidades em termos de outros nutrientes, como por exemplo o fósforo, acaba por surgir um excesso de aplicação deste nutriente no solo aquando da aplicação de chorume como fertilizante orgânico (Roboredo et al., 2012; Fangueiro et al., 2018). Este excesso deve-se não só ao rácio N/P existente no chorume mas também devido às necessidades de N/P por parte das culturas (Roboredo et al., 2012).

Existem outras limitações no que toca à utilização deste efluente (Figura 2), nomeadamente, as emissões gasosas associadas ao seu armazenamento e à sua aplicação no solo (Martinez e Burton, 2003; Sommer et al., 2006) e a contaminação das águas não só devido às possíveis perdas de azoto através da lixiviação de NO_3^- bem como também através dos microrganismos patogénicos presentes no chorume (Fangueiro et al., 2014).

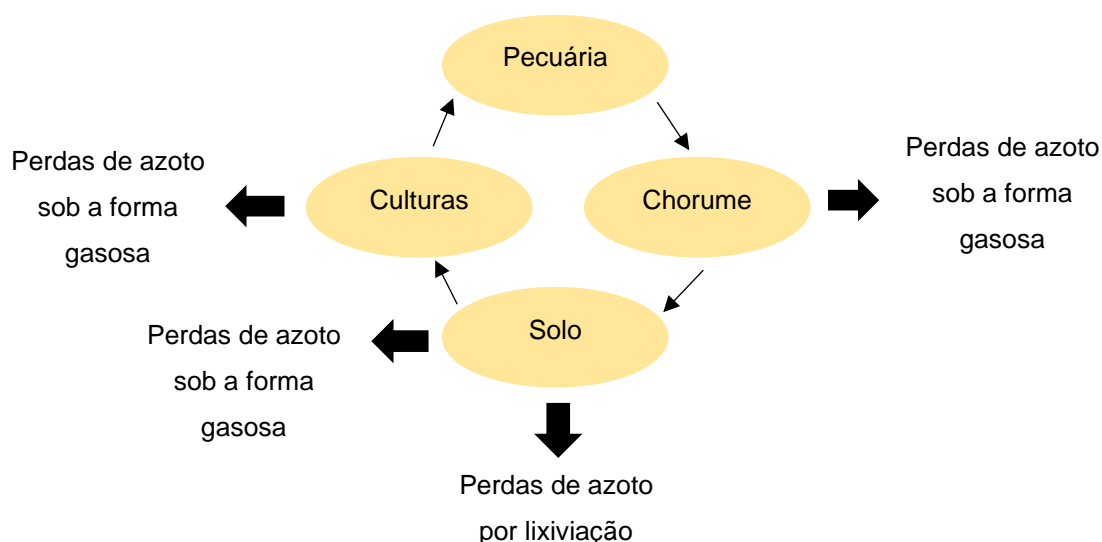


Figura 2 - Ciclo do azoto numa exploração agrícola. Adaptado de Sommer et al. (2006).

Contudo, o maior impacto da sua utilização na agricultura é a emissão de gases para a atmosfera, nomeadamente a emissão de amoníaco e de gases com efeito de estufa, dos quais são exemplo o metano (CH_4) e o óxido nitroso (N_2O), uma vez que estas emissões acarretam consequências negativas quer a nível de saúde pública quer a nível ambiental (Fangueiro et al., 2015d; Pereira et al., 2011), em particular, contribuem para as chuvas ácidas, produção de ozono na troposfera e ainda para as alterações climáticas (Fangueiro et al., 2018). Contrariamente ao desejado, nos últimos anos tem-se verificado um aumento das emissões destes gases (INE, 2018).

2.4.3.1 Emissões de amoníaco

A quantidade de N presente no chorume é superior aquele que é utilizado como fertilizante e, por isso, apesar de ser reutilizado na fertilização das culturas, mais de metade do N é perdido para a atmosfera na forma NH_3 (Martinez and Burton, 2003). Estas perdas significativas de N, por sua vez, terão de ser compensadas através da

adição de mais chorume, levando a que se crie um desequilíbrio em termos de aplicação de outros nutrientes, nomeadamente o P, ou através da adição de fertilizantes minerais (Fangueiro et al., 2015c).

Os chorumes provenientes das produções bovina e suína constituem as mais importantes fontes de NH_3 , uma vez que estas espécies representam os maiores setores de produção animal (Regueiro et al., 2016a).

Na Europa, 80% das emissões de NH_3 derivam da atividade agrícola, sendo de esperar que este valor continue a aumentar devido à intensificação da produção animal (Regueiro et al., 2016a), sendo o azoto amoniacal existente nos chorumes e estrumes a principal fonte de NH_3 proveniente da atividade pecuária (Sommer et al., 2006). As emissões de NH_3 em Portugal, em 2017, atingiram os 13,1 kg NH_3 /ha, tendo sofrido um aumento significativo desde 2013, ano em que as emissões eram de 11,5 kg NH_3 /ha (INE, 2019).

Como tal, é necessário encontrar soluções que permitam reduzir estas emissões, de forma a reduzir as perdas de N por volatilização e, consequentemente, aumentar o valor fertilizante do chorume (Regueiro et al., 2016b). Uma das formas de reduzir estas perdas e também o odor desagradável que este emite é incorporar o chorume no solo até 24h após a sua aplicação (Hatfield et al., 1998), devendo dar-se ainda preferência a dias enevoados e frescos para a aplicação do chorume pois dias quentes e secos promovem a volatilização do azoto (Santos, 2012).

Contudo, os fatores mais importantes no controlo das emissões de amoníaco a partir do solo, após a aplicação do chorume, são o pH e a concentração de N-NH_4^+ , uma vez que o equilíbrio entre as concentrações de NH_4^+ e NH_3 no chorume é dependente do pH (Fangueiro et al., 2017)

2.4.3.2 Emissões de gases com efeito de estufa

Para além das emissões de amoníaco, a aplicação de chorume no solo contribui ainda para a emissão de gases com efeito de estufa, nomeadamente o CH_4 e o N_2O (Regueiro et al., 2016b). Segundo o Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases (PNIR, 2019), em 2017, a atividade agrícola portuguesa contribuiu para cerca de 10% das emissões de gases com efeito de estufa.

A produção de gases é um processo complexo, que resulta de reações microbianas e químicas e, por isso, a quantidade de gases emitida através do chorume depende

essencialmente das características do mesmo (nomeadamente o seu teor de matéria seca), das condições ambientais (nomeadamente da temperatura) e da sua gestão (Wang et al., 2014; Chadwick et al., 2011).

A produção de metano deriva da decomposição anaeróbia da matéria orgânica do chorume (Regueiro et al., 2016b), cujas emissões correspondem entre 12-41% da emissão total de gases derivada da produção agrícola e ocorrem, essencialmente, na fase de armazenamento do mesmo (Chadwick et al., 2011). Desta forma, as emissões deste gás verificadas após aplicação do chorume no solo são reduzidas e devem-se, geralmente, à libertação do metano produzido durante o armazenamento.

A produção de N_2O , por sua vez, constitui um subproduto dos processos de nitrificação/desnitrificação que ocorrem quando condições de aerobiose e anaerobiose se verificam em simultâneo no chorume (Regueiro et al., 2016b; Chadwick et al., 2011) (Figura 3), constituindo a desnitrificação a principal fonte deste gás aquando da aplicação de chorume no solo (Fangueiro et al., 2015d). As emissões deste gás provenientes do chorume contribuem para cerca de 30-50% das emissões totais de N_2O derivadas da produção agrícola (Chadwick et al., 2011).

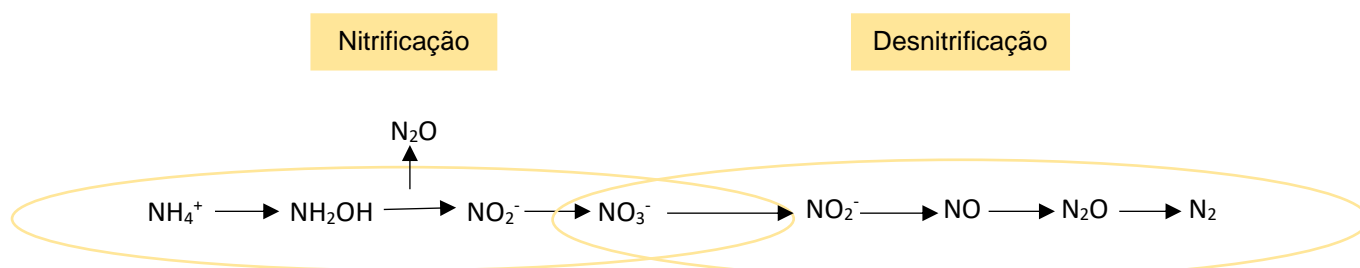


Figura 3 - Representação esquemática dos processos responsáveis pela produção de N_2O . Adaptado de Chadwick et al. (2011).

2.5 Higienização de chorume animal

O chorume contém uma variedade de microrganismos, nomeadamente bactérias, como a *Escherichia coli* que, por sua vez, podem levar a riscos de contaminação ambiental e perturbar a saúde pública e animal aquando do seu reaproveitamento na produção agrícola (Sommer et al., 2013).

A concentração destes microrganismos indicadores de contaminação no chorume depende do tipo de chorume, das suas condições de armazenamento e dos fatores ambientais (Soares et al., 2019).

A presença destes microrganismos patogénicos no chorume não pode exceder os valores máximos admissíveis por lei, valores estes reportados à matéria fresca, não podendo a *Escherichia coli* exceder as 1000 UFC/g de matéria fertilizante produzida (Decreto-Lei 103/2015 de 15 de Junho).

Para que o chorume possa ser aplicado sem riscos de contaminação, é importante ter conhecimento das boas práticas agrícolas, incluindo a utilização de processos que permitam a redução da concentração destes microrganismos patogénicos no chorume (DHHS, 1998).

O armazenamento, a compostagem e a digestão anaeróbia são alguns dos processos mais utilizados, hoje em dia, no tratamento do chorume mas cada vez mais se recorre ao uso de aditivos químicos como ácidos, ureia ou até mesmo amoníaco para que, através de alterações do pH, seja possível eliminar ou reduzir a carga de microrganismos patogénicos (Ottoson et al., 2008).

2.5.1 Acidificação de chorume animal

Atualmente, a injeção de chorume é uma das técnicas mais recomendadas para a aplicação deste no solo, de forma a minimizar as emissões de amoníaco (Fangueiro et al., 2015b). No entanto, segundo os mesmos autores, existem algumas limitações à sua utilização, nomeadamente, o elevado investimento em máquinas, os elevados consumos de energia e o facto de não poder ser aplicado em todos os tipos de solos, surgindo assim a necessidade de encontrar alternativas a esta técnica de forma a utilizar o chorume de forma mais eficiente.

A acidificação do chorume surge assim como uma alternativa interessante, uma vez que permite ultrapassar as limitações mencionadas anteriormente e assegurar uma redução significativa nas emissões de amoníaco (Fangueiro et al., 2015b).

Relativamente à capacidade deste tratamento em eliminar ou, pelo menos, reduzir a concentração de microrganismos patogénicos presentes no chorume, segundo estudos realizados por Soares et al. (2019) e Nyambe et al. (2017), quando se recorre à acidificação, a concentração destes microrganismos tende a ser elevada, não demonstrando a acidificação, até hoje, ser um tratamento eficaz na eliminação de patogénicos. Este facto deve-se, essencialmente, à capacidade da *Escherichia coli* sobreviver a pH ácido, nomeadamente a pH até 4,2 e, no caso de algumas estirpes, a pH até 3,4 (Nyambe et al., 2017).

Contudo, apesar do processo de acidificação promover maiores concentrações de *Escherichia coli*, a conjugação da mesma com a separação das frações líquida-sólida do chorume promovem menores concentrações de patogénicos (Fangueiro et al., 2014).

Apesar deste tratamento não mostrar ser o mais eficaz em termos de eliminação/inibição dos microrganismos patogénicos presentes no chorume, tem demonstrado efeitos positivos significativos na redução da carga poluente do chorume após a sua aplicação no solo e na própria composição do chorume.

Segundo Sommer et al. (2006), o pH inicial do chorume (geralmente entre 7,0 e 8,4) apresenta influência no processo de acidificação, mostrando que a composição química inicial do chorume deve ser conhecida (Regueiro et al., 2016a).

A acidificação é geralmente realizada através da aplicação de ácido sulfúrico (H_2SO_4), essencialmente devido a fatores económicos, uma vez que constitui um dos ácidos comercializados a preços mais baixos (Regueiro et al., 2016a). No entanto, tem surgido a necessidade de encontrar substitutos para este aditivo pois não só constitui um ácido forte (estando-lhe associados perigos a diversos níveis) mas também porque apresenta problemas relacionados com o seu manuseamento, nomeadamente a formação de espuma durante a sua adição (Regueiro et al., 2016a).

Uma das grandes vantagens deste tratamento é o facto de ter um efeito significativo na solubilidade de alguns nutrientes (Fangueiro et al., 2012; Roboredo et al., 2012), nomeadamente no fósforo (cerca de 85% deste nutriente está presente no chorume na sua forma solúvel, comparativamente com o chorume não tratado, onde apenas 8% está sob a forma solúvel) (Fangueiro et al., 2015c), mostrando assim que o chorume poderá servir de substituto aos fertilizantes fosfatados minerais (Regueiro et al., 2015). No entanto, a grande vantagem na aplicação de chorume acidificado no solo é o facto da mesma promover a redução de emissões gasosas provenientes do chorume.

Segundo Fangueiro et al. (2015a, 2017), um decréscimo do pH abaixo de 6,0 é suficiente para reduzir as emissões de NH_3 . De facto, segundo Frost et al. (1990) e Kai et al. (2008), a acidificação do chorume permite reduzir as emissões de NH_3 em 60-85%, após a sua aplicação no solo, comparativamente com a aplicação de chorumes não tratados.

A acidificação favorece também o processo de mineralização do azoto (Fangueiro et al., 2010), sendo este um dos maiores riscos associados à minimização das emissões de NH_3 nos solos onde são aplicados chorumes tratados, pois a elevada concentração de

NH_4^+ que fica contida no solo pode, por sua vez, sofrer facilmente nitrificação pelas bactérias aeróbias presentes no solo (Fangueiro et al., 2014).

No entanto, segundo estudos realizados por Regueiro et al. (2016b), a acidificação inibe os processos de nitrificação/desnitrificação, uma vez que este tratamento reduz a circulação de ar no solo, impedindo os microrganismos responsáveis pela nitrificação de atuar (Fangueiro et al., 2015d). Desta forma, uma vez que são estes os processos biológicos responsáveis pela libertação de N_2O , as emissões deste gás sofrem também uma redução quando aplicado o processo de acidificação no chorume, comparativamente às emissões de N_2O verificadas com a aplicação de chorume não tratado (Regueiro et al., 2016b).

A acidificação apresenta assim efeitos significativos quer no rendimento das plantas quer no valor fertilizante do chorume, uma vez que reduz as perdas de azoto (Fangueiro et al., 2015b), e aumenta tanto a concentração de NH_4^+ quanto a de azoto total (N_T) no chorume (Soares et al., 2019).

Segundo estudos realizados por Petersen et al. (2012), as emissões de metano também sofrem reduções, devido à acidificação, na ordem dos 67-87% (valores obtidos com adição de ácido clorídrico), uma vez que a emissão deste gás é inibida a pH inferior a 6,0 (Regueiro et al., 2016b), tendo também o H_2SO_4 provado igualmente promover reduções significativas nas emissões de CH_4 e N_2O (Wang et al., 2014; Fangueiro et al., 2015d; Regueiro et al., 2016a; Fangueiro et al., 2017).

2.5.2 Alcalinização de chorume animal

O processo de alcalinização aplicado no chorume animal nunca constituiu alvo de grandes estudos e, por isso, muito pouco se sabe acerca do seu efeito quer nas características do chorume quer nas propriedades do solo e nas plantas, após a aplicação do chorume nos solos agrícolas.

Contudo, relativamente à capacidade deste processo reduzir ou eliminar os microrganismos patogénicos presentes no chorume, existem já alguns estudos realizados. Segundo Ottoson et al. (2008), quando se recorre à aplicação de aditivos ao chorume com o objetivo de elevar o seu pH, o tempo de atuação dos mesmos e o valor agronómico do produto final devem ser fatores a ter em conta. Estes aditivos podem, inicialmente, ter um efeito positivo na inibição ou até mesmo na eliminação de microrganismos patogénicos. No entanto, quando se verifica apenas a inibição destes microrganismos, a partir de uma certa altura os aditivos podem apresentar um efeito

contrário, uma vez que com o passar do tempo o pH do chorume tende a diminuir e, consequentemente, o reaparecimento dos microrganismos é favorecido.

A ureia tem sido, desde sempre, o aditivo mais utilizado no tratamento por alcalinização, uma vez que após a sua aplicação, esta é convertida em amoníaco e dióxido de carbono, promovendo o aumento do pH do material tratado e contribuindo, assim, para um decréscimo significativo de *Escherichia coli* (Ottoson et al., 2008). A redução destes microrganismos através da aplicação de ureia foi já igualmente demonstrada por Varennes et al. (2003).

Outros aditivos como a cal, o hidróxido de potássio (KOH) e o hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) foram também já alvo de alguns estudos em lamas de ETAR, não tendo demonstrado, no entanto, a mesma eficiência na eliminação de patogénicos como a aplicação de ureia (Allievi et al., 1994; Ottoson et al., 2008).

O amoníaco, por sua vez, demonstra ser eficiente na eliminação de *Salmonella spp.*, tendo como grande vantagem da sua utilização no tratamento do chorume o facto de permitir a reciclagem do azoto presente no mesmo sob a forma de fertilizante, apresentando assim maior relevância em termos económicos comparativamente com a ureia (Ottoson et al., 2008).

A grande desvantagem do processo de alcalinização quer através da aplicação de amoníaco quer através da aplicação de ureia é o aumento das emissões de NH_3 durante o armazenamento do chorume e após a sua aplicação no solo, uma vez que se verifica um aumento da concentração de NH_3 no chorume tratado (Ottoson et al., 2008).

2.6 Aplicação de chorume animal em horticultura

A aplicação de chorume na agricultura tem sido uma prática comum, em especial, em culturas de cereais e pastagens (Bernal e Roig, 1993).

Na produção hortícola, os agricultores têm apostado cada vez mais na fertilização orgânica através da aplicação de chorume animal, tendo esta vindo a sofrer um aumento significativo na produção da alface, com o objetivo de reduzir as quantidades de fertilizantes minerais aplicadas no solo (Yuri et al., 2016), uma vez que a quantidade destes fertilizantes aplicada na produção da mesma constitui um dos custos de produção mais elevados.

No entanto, a aplicação de chorume animal fresco na horticultura tem sido totalmente desaprovada por muitos autores, não existindo muitos estudos significativos relacionados com o assunto (Cushman e Snyder, 2002).

Esta desaprovação recai, essencialmente, sobre factos mencionados em capítulos anteriores, nomeadamente, na presença de microrganismos patogénicos no chorume que, no caso de não serem eliminados, podem acarretar problemas de saúde pública, através da contaminação das hortícolas, aquando da sua aplicação.

3. Material e Métodos

3.1 Amostragem, armazenamento e caracterização do chorume

Todo o chorume recolhido foi proveniente da exploração “Olho Cinzeiro” da Valorgado – Agricultura e Pecuária, Lda, situada no concelho de Alcochete e que tem como principal atividade a produção de suínos em fase de engorda (fase do ciclo produtivo em que o animal se encontra entre os 25-100 kg de peso vivo). No total, foram recolhidas quatro amostras de chorume distintas, em datas diferentes. Todas as amostras de chorume utilizadas foram armazenadas em recipientes de plástico cobertos, à temperatura ambiente, no Horto de Química, situado no Instituto Superior de Agronomia (ISA).

Cada uma das amostras de chorume foi analisada imediatamente após a sua chegada ao ISA, de forma a obter-se uma caracterização físico-química das mesmas. Para cada parâmetro avaliado, foram realizadas análises em triplicado, encontrando-se os métodos utilizados descritos no Anexo 1.

(1) pH: medido diretamente no chorume através de um potenciómetro (Aqua Lytic) com recurso a um elétrodo de vidro;

(2) Condutividade elétrica (CE): medida diretamente no chorume através de um condutivímetro (Orion Star A212);

(3) Matéria seca (MS): secagem de 10 g de chorume fresco numa estufa a 105 °C até peso constante;

(4) Matéria orgânica (MO, expressa na matéria seca): perda de massa por volatilização, após calcinação da matéria seca, numa mufla a 550 °C durante, pelo menos, 4h.

(5) Azoto total (NT): método de Kjeldahl – digestão ácida seguida de destilação com NaOH e titulação com HCl (0,5N));

(6) Azoto amoniacal (NH_4^+): destilação direta com hidróxido de sódio (NaOH) e titulação com HCl (0.5N);

(7) Fósforo total (PT), potássio (K), sódio (Na), magnésio (Mg), cálcio (Ca), cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn) e boro (B) : secagem de 20 g de chorume fresco numa estufa a 105 °C durante 24 h, moenda das amostras e preparação das mesmas para efetuar a sua digestão (adição de ácido clorídrico e ácido nítrico na proporção 1:3) para posterior quantificação das concentrações dos nutrientes no digerido, com recurso ao “Inductively Coupled Plasma” (ICP).

Para além da caracterização físico-química do chorume foram também realizadas análises microbiológicas ao mesmo, no Laboratório de Microbiologia do ISA, de forma a verificar se este se encontrava contaminado com microorganismos patogénicos, impedindo assim a sua aplicação no solo. Nestas análises, realizadas de forma independente num laboratório de microbiologia, avaliou-se a presença da bactéria *Escherichia coli*.

3.2 Testes de higienização

No decorrer do trabalho, foram considerados três tipos de tratamento de higienização de chorume através da alteração do pH, sendo eles o tratamento por acidificação (Ac), por alcalinização (Al) e por alcalinização seguida de neutralização (Ne). Para cada tratamento, foram definidos os valores de pH que se teriam de atingir para garantir a higienização pretendida, tendo estes sido atingidos através da adição de aditivos químicos.

3.2.1 Acidificação de chorume

No tratamento de acidificação, foi testado um único aditivo, o ácido sulfúrico (H_2SO_4), e foram testados quatro valores de pH (5.5, 5.0, 4.5 e 3.5), de forma a identificar o valor mínimo que garantia a higienização.

Para cada valor de pH testado, foram realizados ensaios em triplicado, tendo sido utilizados frascos de vidro com capacidade de 1 L, onde se introduziu em cada um deles 500 g de chorume bruto (não tratado) de suíno, num total de doze frascos. Foi ainda utilizado um décimo frasco que serviu de controlo aos ensaios, onde foram colocadas 500 g de chorume sem qualquer adição de ácido.

Devido à elevada produção de espuma (Figura 4), derivada da adição de H_2SO_4 , este aditivo teve de ser adicionado de forma fracionada e intervalada, permitindo que a espuma diminui-se pois esta influenciava a leitura do pH, medido diretamente no frasco com recurso a um elétrico ligado a um potenciómetro portátil (Aqua Lytic).



Figura 4 - Formação de espuma após aplicação de ácido sulfúrico (H_2SO_4).

Após a aplicação das quantidades necessárias de H_2SO_4 , foi realizada uma análise microbiológica das 3 repetições, correspondentes a cada valor de pH, de forma a verificar o efeito dos mesmos na higienização do chorume.

3.2.2 Alcalinização de chorume

No tratamento de alcalinização, foram testados cinco aditivos: ureia, amoníaco (NH_3), hidróxido de cálcio ($Ca(OH)_2$), hidróxido de sódio (NaOH) e hidróxido de potássio (KOH). Foram também definidos quatro valores de pH alvo (9.0, 9.5, 10.0 e 11.0), sendo que o procedimento para cada aditivo foi idêntico ao utilizado nos ensaios de acidificação.

Verificaram-se diferenças significativas no momento da adição de cada um dos aditivos no chorume, tendo sido escolhido no final dos ensaios apenas um dos aditivos para ser utilizado no tratamento do chorume e para posterior aplicação no ensaio em vasos com a alface.

As quantidades de cada aditivo utilizadas nos ensaios de higienização encontram-se no Anexo 3. Dos cinco aditivos testados, o hidróxido de potássio (KOH) foi o aditivo selecionado para os tratamentos de alcalinização e de alcalinização seguida de neutralização.

Após a aplicação das quantidades de aditivos necessárias, procedeu-se a uma análise microbiológica das 3 repetições correspondentes a cada valor de pH de forma a verificar se algum dos tratamentos teve efeitos significativos na higienização do chorume.

Para além dos tratamentos de acidificação e alcalinização, foi ainda realizado um terceiro tratamento ao chorume, uma alcalinização seguida de neutralização, nas

mesmas condições que os dois primeiros, Este tratamento consistiu numa alcalinização idêntica à realizada no tratamento de alcalinização (após se determinar a que valor de pH o chorume se encontrava higienizado através deste tratamento) e posterior adição de H_2SO_4 de forma a que o chorume atingi-se novamente um valor de pH próximo de 7.

3.3 Amostragem e caracterização físico-química do solo usado no ensaio

O solo utilizado no ensaio foi amostrado na camada arável de uma exploração agrícola localizada no Montijo. Apresentava textura arenosa-fina e um pH ácido. A caracterização pormenorizada do solo em estudo foi fornecida pelo Laboratório de solos do ISA, encontrando-se os resultados obtidos no Quadro 4.

Quadro 4 - Caracterização do solo utilizado no ensaio em vasos (adaptado do boletim de análises fornecido pelo Laboratório de solos do ISA).

Parâmetro		Unidades	Resultado	Observações
pH (H ₂ O) (1:2,5)		-----	5,40	Ácido
Condutividade elétrica (CE)		(mS/cm)	0,03	Não salino
Azoto mineral		-----	-----	-----
Matéria Orgânica (MO)		(%)	0,53	Muito baixo
Fósforo extraível (P ₂ O ₅)		(mg/kg)	42	Baixo (Índice de fertilidade 2)
Potássio extraível (K ₂ O)		(mg/kg)	20	Muito baixo (Índice de fertilidade 1)
Bases de troca	Potássio	(cmol(+)/kg)	0,04	Muito baixo
	Sódio	(cmol(+)/kg)	0,03	Muito baixo
	Cálcio	(cmol(+)/kg)	0,93	Muito baixo
	Magnésio	(cmol(+)/kg)	0,18	Muito baixo
Microelementos extraíveis	Ferro	(mg/kg)	21,46	Baixo
	Cobre	(mg/kg)	0,69	Baixo
	Zinco	(mg/kg)	0,83	Baixo
	Manganês	(mg/kg)	1,51	Muito baixo

Foi ainda determinada a capacidade máxima de retenção em água do solo, tendo-se obtido um valor igual a 0,165 L/Kg.

3.4 Instalação do ensaio em vasos com a alface

O ensaio em vasos com a alface decorreu entre o dia 08/04/2019 e o dia 11/06/2019.

3.4.1 Modalidades consideradas

Foram consideradas as seguintes modalidades, em triplicado: solo sem aplicação de qualquer tipo de fertilizante (CT), solo com aplicação de adubo mineral (CM), solo com aplicação de chorume não tratado (Br), solo com aplicação de chorume acidificado (Ac), solo com aplicação de chorume alcalinizado (Al) e solo com aplicação de chorume alcalinizado seguido de neutralização (Ne).

3.4.2 Preparação do ensaio em vasos com a alface

Na preparação do ensaio em vasos, foram utilizados vasos com capacidade de 8 L onde foram colocados 7 kg de terra seca. No dia 05/04/2019, realizou-se uma adubação de fundo em todos os vasos (n=18), exceto na modalidade controlo, com recurso a 50 mL de uma solução aquosa de sulfato de amónio ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) (47,14 g/L), a partir da qual se forneceu 0,5 g de azoto, conjugada com 50 mL de uma solução aquosa de dihidrogenofosfato de potássio (KH_2PO_4) (38,30 g/L) e sulfato de potássio (K_2SO_4) (12,51 g/L), de forma a fornecer 1 g de fósforo e 1 g de potássio. Pretendia-se desta forma simular a aplicação de um adubo ternário 7:14:14.

O solo colocado nos vasos foi humedecido com água desionizada até se atingir 65% da capacidade máxima de retenção de água do solo, tendo sido este valor mantido constante ao longo de todo o ensaio.

No dia da instalação do ensaio (08/04/2019), colocou-se uma planta de alface em cada vaso (Figura 5). As plantas foram germinadas no ISA e posteriormente fornecidas para a realização do ensaio.



Figura 5 - Aspeto geral do ensaio após instalação das alfaces.

3.4.3 Adubação de cobertura

Foram realizadas duas adubações de cobertura, uma no dia 23/04/2019 e outra no dia 22/05/2019. Em cada aplicação de cobertura utilizou-se uma amostra de chorume fresco diferente, recolhida e analisada poucos dias antes da sua aplicação. Uma vez que o chorume aplicado em cada cobertura era diferente das amostras de chorume utilizadas nos testes de higienização, as quantidades de aditivo utilizadas nos tratamentos de higienização para aplicação do chorume no ensaio em vasos diferiram em relação às quantidades aplicadas durante os testes de higienização. Foi feita uma estimativa da quantidade que seria necessária de cada um dos aditivos com base nos testes realizados, tendo sido lido posteriormente o pH e feitas as adições finais necessárias, de modo a atingir os valores de pH que garantiam a higienização.

A quantidade de chorume aplicada nos vasos, em cada cobertura, foi determinada em função da concentração de N-NH_4^+ presente no chorume não tratado. Devido às reações químicas observadas no decorrer dos tratamentos com os diferentes aditivos, os valores totais de azoto fornecidos por modalidade variaram. Na 1.^a e 2.^a cobertura foram aplicadas 68 g e 90 g de chorume (tratado e não tratado), respetivamente, equivalente a cerca de 0,33 g de N-NH_4^+ .

Relativamente à modalidade com adubo mineral, aplicou-se em ambas as coberturas 0,943 g de nitrato de amónio (NH_4NO_3), 0,366 g de di-hidrogenofosfato de cálcio ($\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e 0,524 g de cloreto de potássio (KCl), de forma a veicular as quantidades de azoto, fósforo e potássio aplicadas nos tratamentos com chorume.

3.5 Medição de emissões gasosas

3.5.1 Amoníaco (NH_3)

As medições das emissões de amoníaco foram efetuadas durante os primeiros 4 dias após cada cobertura, num período aproximado de 4 horas durante a manhã e num período de 14 horas durante a noite, tendo sido seguido o protocolo descrito em Fangueiro et al. (2015d).

De forma sucinta, a medição da emissão deste gás consistiu na fixação, em 200 mL de uma solução de ácido ortofosfórico (0,05M), do amoníaco emitido em cada vaso, após aplicação do chorume. Posteriormente, a concentração de amoníaco fixado na solução, na forma de NH_4^+ , foi quantificada por análise da solução por espectrofotometria de absorção molecular num auto analisador de fluxo segmentado (Skalar).

De forma a ser possível recolher todo o amoníaco emitido após aplicação do chorume, cada vaso foi coberto por uma câmara, estando esta ligada a um balão de Erlenmeyer onde, por sua vez, estava contido o ácido ortofosfórico, fixador do NH_3 (Figura 6).



Figura 6 - Aspeto geral dos equipamentos utilizados para medição de emissões de amoníaco.

Os fluxos de NH_3 , expressos em $\text{mg N vaso}^{-1} \text{ d}^{-1}$, foram calculados com base na quantidade de NH_4^+ presente na solução, a área do vaso e o tempo acumulado após aplicação.

Os resultados obtidos foram posteriormente utilizados para calcular as emissões cumulativas de NH_3 , por modalidade, através do somatório das emissões verificadas entre duas datas seguidas, até ao último dia de ensaio.

3.5.2 Gases com efeito de estufa (GEE)

As medições das emissões de metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O), foram realizadas três vezes por semana, sempre da parte da manhã (por volta das 10h00 da manhã), desde o dia em que foi realizada a 1ª. adubação de cobertura até ao último dia do ensaio (11/06/2019), tendo sido seguido o protocolo descrito em Fangueiro et al. (2015d).

De forma sucinta, para a medição das emissões destes gases, as alfaces foram cobertas hermeticamente com outra câmara, preparada especificamente para o ensaio, de forma a que o ar ficasse contido dentro das mesmas (Figura 7).

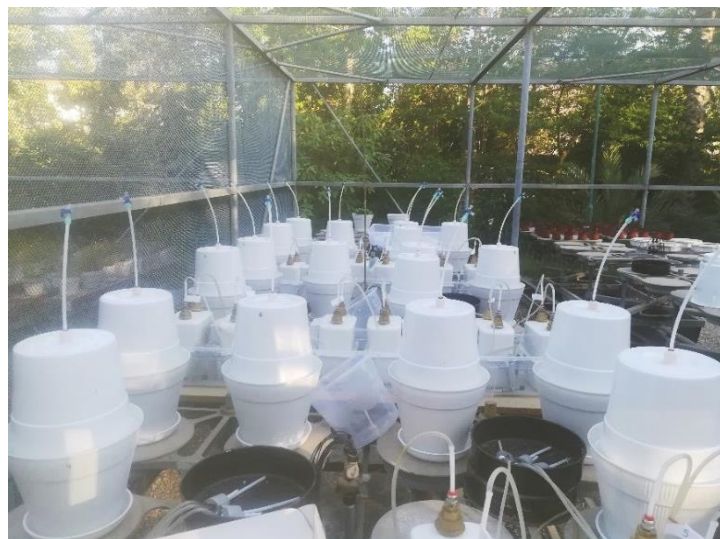


Figura 7 - Aspecto geral dos equipamentos utilizados para medição de emissões de gases com efeito de estufa.

O ar contido dentro dos vasos foi homogeneizado e, posteriormente, foi recolhida uma amostra do mesmo.

O ar recolhido era transferido para tubos previamente colocados em vácuo que, posteriormente, permitiam a leitura das emissões dos gases com efeito de estufa através do equipamento GC-2010 Plus Gas Chromatograph.

Foram determinadas as concentrações de cada um dos gases aos tempos 0, 30 e 60 minutos após cobertura das alfaces com as câmaras. Considerando o aumento da concentração dos gases ao longo do tempo de medição, foram calculados os fluxos de CH₄ e N₂O, expressos em mg C vaso⁻¹ d⁻¹ e mg N vaso⁻¹ d⁻¹ respetivamente. Recorreu-se, em primeiro lugar, a uma regressão linear dos valores das emissões obtidas de ambos os gases, nos três tempos de medição. Posteriormente, utilizou-se a equação abaixo descrita (Equação 3), a partir da qual se obtiveram os valores dos fluxos.

$$\text{Fluxo (mg C ou N vaso}^{-1} \text{ d}^{-1}\text{)} = \frac{\text{Valor obtido através da regressão} \times \text{massa molecular do gás}}{22,4 \times \left(\frac{273 + T(^{\circ}\text{C})}{273}\right)} \times \frac{\text{Altura da câmara (m)}}{1000} \times 60 \times 24 \times \text{Área do vaso (m}^2\text{)} \times 1000 \quad (3)$$

Os resultados obtidos foram posteriormente utilizados para calcular as emissões cumulativas de cada gás, por modalidade, através do somatório das emissões verificadas entre duas amostragens seguidas, até ao último dia de ensaio.

3.5.3 Perdas de carbono e azoto

Com base na determinação das emissões cumulativas de CH₄, N₂O e NH₃ e nos teores de carbono e azoto aplicados no solo através do chorume, em cada modalidade, foram calculadas as perdas de carbono sob a forma de CH₄, as perdas de azoto sob a forma de N₂O e NH₃ e ainda as perdas de NH₄⁺ sob a forma de NH₃, demonstrado nas Equações 4, 5, 6 e 7.

% C aplicado perdido sob a forma de CH₄

$$= \frac{\text{Emissão cumulativa CH}_4 \text{ (g vaso}^{-1}\text{d}^{-1}\text{)}}{\text{Teor de C (g)}} \times 100 \quad (4)$$

% N aplicado perdido sob a forma de N₂O

$$= \frac{\text{Emissão cumulativa N}_2\text{O (g vaso}^{-1}\text{d}^{-1}\text{)}}{\text{Teor de N (g)}} \times 100 \quad (5)$$

% N aplicado perdido sob a forma de NH₃

$$= \frac{\text{Emissão cumulativa NH}_3 \text{ (g vaso}^{-1}\text{d}^{-1}\text{)}}{\text{Teor de N (g)}} \times 100 \quad (6)$$

% NH₄⁺ aplicado perdido sob a forma de NH₃

$$= \frac{\text{Emissão cumulativa NH}_3 \text{ (g vaso}^{-1}\text{d}^{-1}\text{)}}{\text{Teor de NH}_4^+ \text{ (g)}} \times 100 \quad (7)$$

3.6 Análise de plantas e solo no final do ensaio

3.6.1 Análise de plantas

No fim do ensaio, as alfaces foram retiradas do solo para posterior análise laboratorial. De forma a evitar quaisquer riscos de contaminação das alfaces, que foram também analisadas em termos microbiológicos, foi necessário proceder à desinfeção de todo o material utilizado para o corte das mesmas. Após o corte, estas foram pesadas, determinando-se o teor de matéria verde.

Após esta pesagem e antes de se determinar o teor de matéria seca, foram retiradas 10 g de cada alface para se proceder à análise microbiológica das mesmas, tendo sido estas análises realizadas pelo Laboratório de Microbiologia do ISA, avaliando-se a presença de *Escherichia coli*.

Na determinação do teor de matéria seca, foi necessário colocar as alfaces numa estufa a secar a 65 °C, por um período de 48-72 h. Após este período na estufa e pesagem do material seco, este foi moído de forma a determinar o seu teor em nutrientes. A determinação dos teores de azoto e dos restantes nutrientes, como o fósforo e o potássio, foi realizada segundo os métodos descritos em Horneck e Miller (1998) e Kalra (1998), respetivamente.

De forma muito sucinta, a determinação do teor de azoto foi realizada com recurso ao método MicroKjeldahl, após pesagem de 0,25 g de amostra, e a determinação dos teores dos restantes nutrientes foi realizada por digestão ácida seguida de quantificação ICP, após pesagem de 0,30 g de amostra.

3.6.2 Cálculo das exportações de nutrientes

De forma a avaliar a disponibilidade dos nutrientes principais (N, P, K) para as alfaces, foram calculadas as exportações dos mesmos que ocorreram ao longo do ensaio (Equação 8). Para a sua determinação foram consideradas as produções de matéria seca obtidas (Kg) e as concentrações finais de cada um dos três nutrientes no final do ensaio (g/Kg).

$$\text{Exportação (g)} = \text{Matéria Seca (Kg)} \times \text{Concentração} \left(\frac{\text{g}}{\text{Kg}} \right) \quad (8)$$

A eficiência de utilização dos nutrientes (Equação 9), foi calculada considerando o quociente da diferença entre as exportações nas diferentes modalidades (g) e as exportações verificadas na modalidade controlo (g) e as quantidades totais de azoto, fósforo e potássio aplicadas em cada uma das modalidades através da adubação de fundo e das duas adubações de cobertura.

Eficiência de utilização (%)

$$= \frac{\text{Exportações (modalidade)} - \text{Exportações (controlo)}}{\Sigma \text{ adubações}} \times 100 \quad (9)$$

3.6.3 Análise de solo

Ao longo do ensaio foram realizadas três amostragens de solo: uma antes da aplicação da 1.^a adubação de cobertura (23/04/2019), a segunda antes da 2.^a adubação de cobertura (22/05/2019) e a última no final do ensaio (11/06/2019). As amostras de solo foram armazenadas no congelador até ao dia em que foram analisadas, de forma a não proporcionar alterações nas suas características físico-químicas. Foram determinados diversos parâmetros (cujos métodos utilizados se encontram descritos no Anexo 2), sempre em triplicado, nas amostras de solo seco, com exceção do azoto mineral onde a quantificação foi feita na amostra fresca. A secagem das amostras de solo foi realizada a 60 °C durante um período de 48 h.

- (1) Medição do pH e condutividade elétrica: numa suspensão solo:água de razão 1:2.5(p/v);
- (2) Carbono total: pesagem de ± 0.5 g de amostra seca e posterior leitura no analisador de carbono (AnalyticJena, multi EA 4000);
- (3) Azoto amoniacal (NH_4^+) e azoto nítrico (NO_3^-): Extração com 30 mL de KCl (2M), preparação das amostras para efetuar a sua digestão e posterior leitura das concentrações dos nutrientes através de ICP;
- (4) Fósforo extraível, potássio extraível e bases de troca (K, Na, Ca, Mg): Extração pelo método de Égner-Rhiem, preparação das amostras para efetuar a sua digestão e posterior leitura das concentrações dos nutrientes através de ICP;
- (5) Microelementos extraíveis (Fe, Zn, Cu, Mn): Extração pelo método de Lakanen-Ervio, preparação das amostras para efetuar a sua digestão e posterior leitura das concentrações dos nutrientes através de ICP.

3.7 Análise Estatística

Todos os resultados obtidos foram tratados estatisticamente através do programa Statistix 10, onde se procedeu a uma análise de variâncias com recurso à ANOVA e, posteriormente, efectuou-se uma comparação de médias com recurso ao teste de Tukey a 95% de confiança ($\alpha = 0,05$).

4. Resultados e Discussão

4.1 Higienização do chorume

Para os testes de higienização foram utilizadas duas amostras de chorume de suíno, recolhidas na mesma exploração e em datas diferentes (BrS1 e BrS2), cujas características iniciais, expressas na matéria seca, se encontram descritas no quadro abaixo (Quadro 5).

Quadro 5 - Principais características determinadas nas duas amostras de chorume bruto (BrS1 e BrS2). Médias e desvio padrão de 3 repetições.

Parâmetros	Unidades	BrS1	BrS2
pH (H ₂ O)	-----	7,1 ± 0,01	7,2 ± 0,01
CE	mS	24,3 ± 0,2	26,3 ± 0,1
MS	g/kg	87,9 ± 0,7	39,1 ± 1,2
MO	g/kg	788,6 ± 7,9	678,1 ± 5,3
NT		68,9 ± 0,1	116,8 ± 0,3
NH ₄ ⁺		44,9 ± 0,04	82,9 ± 0,3
PT		15,7 ± 0,5	20,6 ± 0,1
K		33,9 ± 3,2	59,4 ± 0,5
Na		13,8 ± 0,2	27,8 ± 0,3
Mg		9,2 ± 0,03	12,3 0,2
Ca		19,5 ± 0,2	25,9 ± 0,1
S		9,0 ± 0,1	13,1 ± 0,2
Cu	mg/kg	150,5 ± 6,1	181,3 ± 15,6
Zn		583,3 ± 8,4	548,4 ± 7,9
Fe		1257,5 ± 29,0	1228,1 ± 14,5
B		38,6 ± 5,4	61,8 ± 2,2
Mn		506,3 ± 4,9	618,8 ± 1,2

Os dois chorumes não tratados, apresentavam diferenças nas suas características iniciais, em especial, em termos de valor de pH, teor de matéria seca, teor de matéria orgânica, azoto total e azoto amoniacal, o que posteriormente influenciou os testes de higienização realizados, uma vez que as quantidades de aditivos a aplicar em cada amostra de chorume não foram exatamente as mesmas para atingir os valores de pH pretendidos. Assim, as quantidades de aditivos aplicadas nos tratamentos, correspondem apenas a estimativas, não podendo ser consideradas fixas mas sim indicativas que deverão ser ajustadas consoante as características iniciais do chorume utilizado.

4.1.1 Testes de Higienização

4.1.1.1 Acidificação

Nos ensaios de acidificação, o ácido sulfúrico (H_2SO_4) foi o único aditivo testado. A quantidade de H_2SO_4 necessária para atingir cada valor de pH desejado na amostra de chorume BrS1 encontra-se no Quadro 6.

Quadro 6 - Higienização através da acidificação de chorume de porco. Volume de ácido necessário para se atingir um valor de pH igual a 5,5, 5,0, 4,5 e 3,5. Médias e desvio padrão de 3 repetições.

Ensaio de Acidificação					
Aditivo: H_2SO_4		pH			
		5,5	5,0	4,5	3,5
Chorume Suíno (1 kg)	pH obtido	5,5 ± 0,02	4,9 ± 0,05	4,4 ± 0,02	3,5 ± 0,05
	Volume (mL)	6,4	9,0	11,0	14,0
	Proporção (v:m)	0,60%	0,90%	1,1%	1,4%

Segundo Regueiro et al. (2016a), o valor de pH que normalmente se pretende atingir com o tratamento de acidificação é de 5,5. No entanto, este valor de pH já demonstrou, com o passar do tempo, ter tendência a aumentar, sendo preciso efectuar nova acidificação ao chorume.

Desta forma, foram estipulados outros valores de pH, nomeadamente o valor de pH de 3,5, uma vez que este provou conseguir manter um pH ácido no chorume durante um maior período de tempo (Regueiro et al., 2016a).

Após a análise microbiológica, verificou-se que o chorume não se encontrava higienizado a pH 5,5 (10^3 UFC/g). A sua higienização foi conseguida com valores de pH 5,0 (<100 UFC/g), pH 4,5 (<100 UFC/g) e pH 3,5 (<100 UFC/g) (Anexo 4). Desta forma, conclui-se que o valor de pH 5,0 é aquele que permite higienizar o chorume, utilizando o menor volume de ácido.

As quantidades de ácido aplicadas não ultrapassaram os 1,5% (v:m) pelo que a adição de H_2SO_4 não irá provocar uma diluição significativa do chorume nem aparenta ser desvantajosa em termos económicos, tal como provado por Regueiro et al. (2016a). Tal como referido na literatura, as características iniciais do chorume influenciam o tratamento do mesmo (Sommer et al., 2006; Regueiro et al., 2016a), logo, a adição de uma quantidade definida de H_2SO_4 não é garantia de higienização que, por sua vez, depende do pH final do chorume.

4.1.1.2 Alcalinização

Nos ensaios de alcalinização testaram-se, como já referido anteriormente, cinco aditivos para elevar o pH para um valor de 9,0, 9,5, 10,0 e 11,0 : hidróxido de potássio (KOH), hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), ureia e amoníaco (NH_3), podendo os resultados obtidos neste estudo ser consultados no capítulo Anexos (Anexo 3). No Quadro 7 é apresentada uma avaliação qualitativa de cada um dos aditivos.

Quadro 7 - Aditivos utilizados e diferenças de reação de cada um com o chorume.

Aditivo	Observações
Ureia	Não eleva o pH acima de 9
Amoníaco (NH_3)	Necessárias grandes quantidades deste aditivo para atingir os valores de pH estipulados, tornando-se desvantajoso economicamente
Hidróxido de Cálcio (Ca(OH)_2) (sólido)	Muito difícil de dissolver, necessitando de muito tempo para reagir
Hidróxido de Sódio (NaOH) (sólido)	Fornece sódio em excesso
Hidróxido de Potássio (KOH) (sólido)	Nenhum inconveniente relevante

Face aos resultados obtidos neste estudo prévio, optou-se por utilizar o KOH para higienizar o chorume utilizado no ensaio em vasos. Assim, serão apresentados de seguida alguns resultados obtidos com este aditivo no estudo de otimização da higienização por alcalinização. A quantidade de aditivo necessária para atingir cada valor de pH encontra-se no Quadro 8.

Quadro 8 - Higienização através da alcalinização de chorume de porco. Volume de KOH necessário para se atingir um valor de pH igual a 9,0, 9,5, 10,0 e 11,0. Médias e desvio padrão de 3 repetições.

Ensaio de Alcalinização					
Aditivo: KOH		pH			
		9,0	9,5	10,0	11,0
Chorume Suíno (1 kg)	pH obtido	9,0 ± 0,01	9,5 ± 0,01	10,0 ± 0,01	11,1 ± 0,03
	Massa (g)	4,0	7,0	12,0	21,0
	Proporção (m:m)	0,40%	0,70%	1,20%	2,10%

Após a análise microbiológica, verificou-se que o chorume não se encontrava higienizado a pH 9 (10^5 UFC/g). A sua higienização foi conseguida com valores de pH 9,5 (<100 UFC/g), pH 10 (<100 UFC/g) e pH 11 (<100 UFC/g) (Anexo 5). Desta forma, conclui-se que o valor de pH 9,5 é aquele que permite higienizar o chorume, utilizando a menor massa de KOH.

As quantidades de KOH aplicadas não ultrapassaram os 2,5% (m:m) pelo que a adição de KOH não aparenta ser desvantajosa em termos económicos. As características iniciais do chorume, tal como já mencionado, influenciaram o tratamento do mesmo, logo, a adição de uma quantidade definida de KOH não pode ser garantia de higienização que, por sua vez, depende do pH final do chorume.

4.1.2 Preparação do chorume aplicado no ensaio em vasos

Após os testes de higienização e estimadas as quantidades necessárias de cada aditivo para atingir o valor de pH que garante a higienização do chorume por acidificação e alcalinização (seguido ou não de neutralização), realizou-se um ensaio em vasos onde se procedeu à aplicação de chorume, como fertilizante orgânico, de forma a avaliar o efeito dos diferentes tratamentos no desenvolvimento da alface.

Para além dos tratamentos de acidificação e alcalinização, foi também aplicado um tratamento de alcalinização seguida de neutralização. Após a análise microbiológica dos chorumes tratados por via de alcalinização, procedeu-se à alcalinização seguida de neutralização, de forma a testar se este tratamento garantia igualmente a higienização do chorume. Este tratamento também mostrou ser eficiente na higienização do chorume, tal como demonstra o Anexo 6.

No ensaio em vasos foram realizadas duas coberturas. Apesar de todo o chorume utilizado ao longo do ensaio experimental ter origem na mesma exploração, este foi recolhido em dois períodos distintos (BrS3 e BrS4), alguns dias antes da sua aplicação. Após recolha das amostras, determinaram-se as suas características iniciais de forma a adaptar a quantidade de aditivo e atingir mais facilmente o valor de pH desejado, que assegura uma higienização total.

No Quadro 9 são apresentadas as quantidades de aditivos utilizadas nos chorumes BrS3 e BrS4 para a sua higienização por acidificação, alcalinização e alcalinização seguido de neutralização.

Quadro 9 - Quantidades de H_2SO_4 e KOH aplicadas no chorume nos tratamentos de acidificação, alcalinização e alcalinização seguida de neutralização para posterior aplicação no ensaio em vasos, nas duas coberturas.

Tratamento	pH inicial	g KOH	mL H_2SO_4	pH final
Acidificação (1.^a cobertura)	7,1	-----	8,5 mL/kg chorume	5,0
Alcalinização (1.^a cobertura)		11,5 g/kg chorume	-----	9,5
Alcalinização seguida de neutralização (1.^a cobertura)			5,0 mL/kg chorume	9,5/7,1
Acidificação (2.^a cobertura)	6,7	-----	9,0 mL/kg chorume	4,9
Alcalinização (2.^a cobertura)	6,6	11,0 g/kg chorume	-----	9,5
Alcalinização seguida de neutralização (2.^a cobertura)	6,6		4,0 mL/kg chorume	9,6 /7,1

Caracterização do chorume aplicado no ensaio em vasos

Nos quadros abaixo (Quadros 10 e 11), são apresentadas as características iniciais de ambos os chorumes (BrS3 e BrS4) aplicados na 1.^a e 2.^a coberturas, respetivamente, no ensaio em vasos bem como as suas características após os diferentes tratamentos, expressas na matéria seca.

As siglas AcS3 e AcS4, AIS3 e AIS4, NeS3 e NeS4 correspondem ao chorume acidificado, chorume alcalinizado e chorume alcalinizado seguido de neutralização dos chorumes BrS3 e BrS4, respetivamente.

Quadro 10 - Principais características do chorume tratado e não tratado utilizado na 1.^a cobertura. Para cada parâmetro analisado, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.

Parâmetros	Unidades	BrS3	AcS3	AlS3	NeS3
pH (H ₂ O)	-----	7,2 ^b	5,1 ^d	9,5 ^a	7,1 ^c
CE	mS/cm	29,9 ^c	34,5 ^b	34,5 ^b	36,6 ^a
MS	g/kg	72,3 ^d	92,7 ^a	82,8 ^c	85,6 ^b
MO	g/kg	734,0 ^a	752,7 ^a	686,8 ^b	645,9 ^c
N _T		95,9 ^a	71,2 ^b	63,5 ^c	66,9 ^{bc}
NH ₄ ⁺		67,9 ^a	52,2 ^b	46,5 ^c	47,5 ^c
P _T		18,2 ^a	13,1 ^b	13,3 ^b	13,4 ^b
K		56,1 ^b	40,3 ^c	92,9 ^a	93,6 ^a
Na		23,7 ^a	17,5 ^c	19,7 ^b	20,1 ^b
Mg		13,1 ^a	9,4 ^b	9,8 ^b	9,8 ^b
Ca		25,5 ^a	18,6 ^b	19,1 ^b	19,2 ^b
S		11,7 ^c	56,6 ^a	9,2 ^c	36,2 ^b
Cu		0,2 ^a	0,1 ^b	0,1 ^b	0,1 ^b
Zn	g/kg	0,5 ^a	0,4 ^b	0,4 ^b	0,4 ^b
Fe		1,8 ^a	1,3 ^b	1,4 ^b	1,3 ^b
B		0,1 ^a	0,1 ^a	0,1 ^a	0,1 ^a
Mn		0,7 ^a	0,5 ^b	0,5 ^b	0,5 ^b

Como era expectável, os valores de pH medidos no chorume tratado e não tratado são estatisticamente diferentes (Quadro 10).

Relativamente à condutividade elétrica (CE), houve um aumento dos valores nos tratamentos AcS3, AlS3 e NeS3 face ao chorume não tratado (BrS3). Este aumento da CE deveu-se ao acréscimo significativo de iões (K⁺ e SO₄²⁻) no chorume devido à adição de H₂SO₄ e KOH. Contudo, os tratamentos AcS3 e AlS3 são estatisticamente idênticos entre si mas diferentes de NeS3, apresentando este último o valor mais elevado de CE.

As caracterizações dos chorumes utilizados em estudos realizados por Figueiro et al. (2014; 2015b; 2017) mostraram que a acidificação tem tendência a aumentar a

condutividade elétrica do chorume, quando comparada com a condutividade elétrica do chorume não tratado. Estes resultados corroboram os resultados obtidos neste ensaio, uma vez que se verificou um aumento significativo da CE no tratamento AcS3 face ao chorume não tratado (BrS3). Tal facto pode ser explicado pois a acidificação promove a solubilidade dos iões fornecidos ao chorume, contrariamente à alcalinização, que apesar de promover igualmente um aumento da concentração de iões no chorume, reduz a solubilidade dos mesmos. Relativamente ao tratamento de alcalinização seguida de neutralização, neste tratamento os iões são fornecidos através dos dois tratamentos anteriores, ocorrendo um excesso dos mesmos no chorume, podendo este facto contribuir para o aumento da CE também verificada neste tratamento.

O resultado obtido no teor de matéria seca (MS) foi o esperado, uma vez que a acidificação, segundo alguns autores (Fangueiro et al., 2009; Sorensen and Eriksen, 2009), tem a capacidade de aumentar o teor de MS no chorume, tal como provado no Quadro 10. É assim possível verificar que os valores obtidos de MS entre os tratamentos são estatisticamente diferentes, apresentando o tratamento AcS3 o valor mais elevado. Já em relação ao teor de matéria orgânica (MO), o chorume não tratado (BrS3) e o tratamento AcS3 apresentam valores estatisticamente idênticos, contrariamente aos tratamentos AIS3 e NeS3 que são menores que os dois anteriores e estatisticamente diferentes não só entre si mas também em relação aos restantes tratamentos.

Em termos de $N-NH_4^+$ e N_T , é possível observar no Quadro 10 que em todos os tratamentos, face ao chorume não tratado (BrS3), há um decréscimo significativo dos mesmos no chorume e apenas os chorumes com os tratamentos AIS3 e NeS3 apresentam valores estatisticamente idênticos. No entanto, estas diferenças entre tratamentos face aos valores de N_T e $N-NH_4^+$ devem-se apenas à diferença significativa também verificada em termos de MS, relativamente aos tratamentos AcS3, AIS3 e NeS3 face a BrS3. Considerando os valores na matéria fresca (não apresentados), verifica-se que não existem diferenças significativas.

Segundo Soares et al. (2019) e Fangueiro et al. (2014), a acidificação aumenta sim o valor fertilizante do chorume uma vez que apresenta teores de $N-NH_4^+$ e N_T mais elevados face ao teor de $N-NH_4^+$ e N_T presente no chorume bruto, uma vez que no chorume bruto ocorrem maiores perdas de $N-NH_3$.

Relativamente ao fósforo, o chorume não tratado (BrS3) apresenta um maior teor deste nutriente na sua composição, revelando-se assim o valor de fósforo neste tratamento estatisticamente diferente face aos restantes tratamentos, todos eles com valores estatisticamente idênticos entre si. No entanto, era de esperar que os valores deste

nutriente se mantivessem semelhantes entre modalidades, pelo que esta diferença se pode dever, novamente, devido às diferenças significativas verificadas em termos de MS.

A diferença de valores de potássio entre tratamentos era de esperar, uma vez que foram adicionadas quantidades diferentes deste nutriente através dos diferentes tratamentos. Os tratamentos AIS3 e NeS3 apresentaram valores significativamente superiores e estatisticamente idênticos entre si face ao chorume não tratado (BrS3) e ao tratamento AcS3, uma vez que nos dois primeiros foi aplicado KOH no chorume. O chorume não tratado (BrS3) e o tratamento AcS3, por sua vez, apresentaram valores estatisticamente diferentes entre si.

Em relação ao Ca, Mg e Na, apenas no último se verificaram diferenças mais significativas entre tratamentos, havendo apenas valores estatisticamente idênticos entre os tratamentos AIS3 e NeS3. No caso do Ca e do Mg, apenas o chorume não tratado (BrS3) mostrou apresentar resultados estatisticamente diferentes face aos tratamentos aplicados ao chorume. É ainda de salientar que, relativamente ao teor dos três nutrientes analisados, foi no chorume não tratado (BrS3) que estes se encontraram presentes em maior quantidade, mostrando assim que os tratamentos AcS3, AIS3 e NeS3 não apresentam um efeito significativo na disponibilidade destes nutrientes.

O enxofre é, tal como o potássio, um nutriente que se apresenta em maiores quantidades apenas em alguns dos tratamentos, surgindo diferenças significativas entre os mesmos. Uma vez que tanto no tratamento AcS3 como no tratamento NeS3 foi aplicado H_2SO_4 no chorume, os resultados obtidos foram os esperados, apresentando ambos os maiores valores deste nutriente. Contudo não são estatisticamente idênticos, apresentando o tratamento AcS3 os valores mais elevados de enxofre. Em contrapartida, os tratamentos BrS3 e AIS3 são estatisticamente idênticos, mostrando que a alcalinização não apresentou qualquer efeito na disponibilidade deste nutriente.

Relativamente aos micronutrientes, apenas o boro apresentou valores estatisticamente idênticos entre todos os tratamentos, não havendo, contudo diferenças significativas entre os tratamentos AcS3, AIS3 e NeS3 face aos valores obtidos para o cobre, ferro, manganês e zinco, mostrando assim que os tratamentos não apresentaram efeitos significativos na disponibilidade destes nutrientes, uma vez que os valores foram inferiores aos verificados no chorume não tratado (BrS3).

Quadro 11 - Principais características do chorume tratado e não tratado utilizado na 2.^a cobertura. Para cada parâmetro analisado, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.

Parâmetros	Unidades	BrS4	AcS4	AIS4	NeS4
pH (H ₂ O)	-----	6,7 ^c	5,1 ^d	9,4 ^a	7,1 ^b
CE	mS/cm	22,8 ^c	26,6 ^b	26,8 ^b	30,4 ^a
MS	g/kg	124,1 ^a	126,2 ^a	125,8 ^a	126,7 ^a
MO	g/kg	803,1 ^a	761,7 ^b	728,2 ^c	707,8 ^d
N _T		49,6 ^a	49,1 ^a	46,2 ^a	46,6 ^a
NH ₄ ⁺		29,9 ^a	29,0 ^{ab}	28,3 ^b	28,6 ^{ab}
P _T		13,0 ^a	11,7 ^b	12,3 ^{ab}	12,4 ^{ab}
K		31,6 ^b	31,8 ^b	74,3 ^a	74,2 ^a
Na		11,6 ^b	12,4 ^{ab}	12,5 ^a	12,8 ^a
Mg		10,2 ^a	9,7 ^a	9,7 ^a	9,8 ^a
Ca		21,0 ^a	19,4 ^a	19,8 ^a	19,4 ^a
S		7,8 ^c	42,5 ^a	6,6 ^c	22,1 ^b
Cu		0,2 ^a	0,2 ^a	0,2 ^a	0,2 ^a
Zn	g/kg	0,7 ^a	0,6 ^b	0,6 ^{ab}	0,6 ^{ab}
Fe		1,9 ^a	1,6 ^a	1,7 ^a	1,7 ^a
B		0,1 ^a	0,1 ^{ab}	0,1 ^{ab}	0,1 ^b
Mn		0,6 ^a	0,5 ^b	0,5 ^{ab}	0,5 ^{ab}

Relativamente ao chorume utilizado na 2.^a cobertura, foi possível verificar que este apresentou características iniciais um pouco distintas do chorume aplicado na 1.^a cobertura (Quadro 11).

Em termos gerais, este segundo chorume apresentou valores iniciais de pH inferiores o que, posteriormente, influenciou as quantidades de aditivos a aplicar. Foi ainda possível verificar que o seu teor de MS foi mais elevado mas, no geral, muito mais pobre em nutrientes. Contudo, em relação aos diferentes tratamentos, houve um comportamento muito idêntico ao que se sucedeu com o primeiro chorume.

Análises microbiológicas

Os chorumes tratados e o chorume não tratado, aplicados no ensaio em vasos, foram submetidos a análises microbiológicas de forma a verificar se os chorumes tratados estavam higienizados no momento da sua aplicação no solo.

Verificou-se que todos os chorumes tratados se encontravam higienizados, à exceção do chorume tratado por acidificação na segunda aplicação (Anexo 6).

Tal como mencionado anteriormente no capítulo “Higienização de chorume animal”, a *Escherichia coli* constitui uma bactéria que sobrevive facilmente em ambiente ácido (Soares et al., 2019). Logo, a diminuição do pH do chorume neste segundo tratamento poderá não ter sido suficiente, podendo ser esta a principal razão pela qual o chorume acidificado não se encontrava totalmente higienizado nesta segunda aplicação de cobertura.

4.2 Ensaio em vasos

No tratamento de higienização por acidificação, duas das três alfaces expostas a este tratamento morreram após a 1.^a cobertura. A explicação mais plausível para tal se ter sucedido é o aumento da CE do chorume, referido anteriormente, que poderá ter induzido alguma toxicidade. Contudo, o aumento da CE não deverá ser suficiente para explicar este efeito tão severo no caso da acidificação. Apesar de se ter verificado este aumento nas modalidades Ac, Al e Ne, apenas nas modalidades Ac e Ne morreram duas e uma alface, respetivamente (Figura 8), dado a acidificação promover a solubilidade dos iões e no caso da neutralização haver um excesso de fornecimento de iões.



Figura 8 - As três repetições do tratamento de acidificação (em cima) e do tratamento de alcalinização seguida de neutralização (ao centro) dois dias após a 1.^a cobertura e respectivas alfaces que acabaram por morrer, 6 dias após a cobertura.

Uma vez que não seria possível efectuar análises estatísticas a um tratamento com apenas uma repetição, a modalidade Ac foi considerada apenas na análise dos resultados referentes às emissões gasosas.

4.2.1 Análise microbiológica das plantas

Uma vez que os chorumes não tratados, aplicados na 1.^a e 2.^a coberturas, não se encontravam higienizados, seria expectável detetar alguma contaminação microbiológica nas alfaces. No entanto, os resultados fornecidos pelo Laboratório de Microbiologia do ISA mostraram que, mesmo com a aplicação de chorume não tratado, nenhuma das alfaces apresentava sinais de contaminação com microrganismos

patogénicos, como é possível observar no Anexo 7. Logo, podemos concluir que a aplicação dos diferentes tratamentos de higienização ao chorume poderá não constituir um fator crucial aquando da sua aplicação como adubação de cobertura, uma vez que não se verificou qualquer tipo de contaminação nas alfaces. Contudo, estes tratamentos não poderão ser postos de parte uma vez que apresentam vantagens, descritas mais à frente, no que toca à sua aplicação.

4.2.2 Produção de matéria verde e matéria seca

Matéria Verde

Os valores médios de matéria verde (MV) produzida em cada modalidade, no final do ensaio, encontram-se no Quadro 12.

Quadro 12 - Massa de matéria verde (MV) das alfaces produzidas em cada modalidade no final do ensaio. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.

	Modalidades				
	CT	CM	Br	Al	Ne
MV (g/vaso)	34,8 ^d	136,9 ^{ab}	123,7 ^{bc}	145,7 ^a	111,2 ^c

Foi na modalidade Al que se obteve o maior valor de produção de matéria verde, não apresentando esta contudo, diferenças significativas face à modalidade CM. Este resultado mostra que a aplicação de chorume alcalinizado permite obter produções semelhantes face à aplicação de adubos minerais.

Por sua vez, os resultados obtidos relativamente à aplicação da modalidade Br face à aplicação de adubo mineral corroboram os resultados obtidos por Cushman e Snyder (2002), que observaram que a aplicação de chorume de suíno não tratado é tão eficiente como a adubação mineral, quando aplicado como fertilizante no tomateiro.

A modalidade Ne, pelo contrário, apresentou menor produção de MV face à modalidade CM, não demonstrando ser um bom substituto à adubação mineral.

Comparando as modalidades onde foi aplicado chorume, a modalidade Al mostrou ser a mais eficiente no que toca à disponibilidade de nutrientes para a alface, uma vez que promoveu maiores produções face às modalidades Br e Ne.

Dentro de cada modalidade surgiram situações de degradação de algumas das folhas de algumas alfaces, que por sua vez influenciaram a produção total de MV das mesmas. Posto isto, é possível afirmar que a aplicação do chorume como adubo de cobertura necessita de ser cuidadosa e bem executada de forma a não comprometer a produção.

O resultado obtido na modalidade CT era esperado, uma vez que as alfaces apenas absorveram os nutrientes presentes no solo, não tendo qualquer outra fonte adicional ao longo do ciclo produtivo. Assim, esta apresenta-se como a única modalidade com valor de produção em matéria verde estatisticamente diferente das restantes modalidades.

Matéria Seca

Os valores médios de matéria seca (MS) produzida em cada modalidade, no final do ensaio, encontram-se no Quadro 13.

Quadro 13 - Massa de matéria seca (MS) das alfaces produzidas em cada modalidade no final do ensaio. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.

	Modalidades				
	CT	CM	Br	Al	Ne
MS (g/vaso)	4,3 ^d	11,1 ^a	9,7 ^b	9,3 ^b	8,0 ^c

Relativamente à produção de matéria seca, foi possível verificar que a modalidade CM foi a que apresentou a maior produção, com diferenças significativas face à produção de MS obtida nas modalidades Br e Al. Estas duas últimas, por sua vez, apresentaram produções estatisticamente idênticas entre si.

Dentro das modalidades onde foi aplicado chorume, foi na modalidade Br que se verificaram os maiores valores de produção de MS, apesar de não promover produções idênticas à adubação mineral. Desta forma, foi possível concluir que, em termos de produção, nenhuma das modalidades onde foi aplicado chorume demonstrou ser mais eficiente face à adubação mineral.

Mais uma vez, a modalidade Ne demonstrou ser, dentro das modalidades onde foi aplicado chorume, aquela que permitiu a menor produção face à adubação mineral, não constituindo assim um bom substituto.

Mais uma vez, foi na modalidade CT que se observou o menor valor de produção, apresentando diferenças estatísticas significativas face às modalidades CM, Br, Al e Ne.

Na Figura 9 é possível observar o aspeto das alfaces no último dia de ensaio, antes de serem removidas do solo.



Figura 9 - Alfaces no último dia de ensaio: Modalidade CT (A), Modalidade CM (B), Modalidade Br (C), Modalidade Ac (D), Modalidade Ne (E) e Modalidade Al (F).

4.2.3 Concentração de nutrientes nas alfaces produzidas em cada modalidade

Macronutrientes

As concentrações médias de azoto (N), fósforo (P), potássio (P), sódio (Na), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), expressas na matéria seca, presentes nas alfaces no final do ensaio encontram-se no Quadro 14.

Quadro 14 - Valores da concentração de macronutrientes na alface, expressos na matéria seca, no final do ensaio, por modalidade. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.

Nutrientes	Modalidades				
	CT	CM	Br	AI	Ne
N (g/kg)	7,5 ^c	32,5 ^a	27,3 ^b	28,1 ^{ab}	29,6 ^{ab}
P (g/kg)	0,9 ^c	6,8 ^a	4,9 ^b	5,2 ^b	4,9 ^b
K (g/kg)	5,8 ^c	36,6 ^b	32,2 ^b	53,1 ^a	48,6 ^a
Na (g/kg)	2,7 ^b	1,4 ^b	8,3 ^a	8,6 ^a	7,1 ^a
Ca (g/kg)	6,9 ^b	10,6 ^a	10,3 ^a	7,7 ^b	7,2 ^b
Mg (g/kg)	2,8 ^b	3,1 ^b	3,9 ^a	3,3 ^{ab}	3,3 ^{ab}
S (g/kg)	1,0 ^d	4,1 ^c	6,9 ^b	7,7 ^b	8,9 ^a

Aquando do seu fornecimento em doses adequadas, o azoto é o nutriente que favorece um melhor crescimento vegetativo, através do aumento significativo da área foliar (Yuri et al., 2016) e, conseqüentemente, maiores e melhores produções, constituindo o N-NH_4^+ e o N-NO_3^- as formas deste nutriente que são assimiláveis pelas plantas (Santos, 2012).

Através dos resultados obtidos, apresentados no Quadro 14, é possível verificar que a aplicação de chorume no solo, nomeadamente a aplicação das modalidades AI e Ne, originou concentrações de azoto na planta inferiores mas sem diferenças estatísticas significativas quando comparado com a adubação mineral, demonstrando que as modalidades AI e Ne têm um efeito na disponibilidade deste nutriente para a planta idêntico à adubação mineral.

Apenas a aplicação de chorume não tratado demonstrou diferenças face à modalidade CM, não estando de acordo com os resultados obtidos por Cushman e Snyder (2002), uma vez que a aplicação de chorume não tratado não demonstrou diferenças

significativas face à adubação mineral em termos de disponibilidade de azoto para o tomate.

No caso da modalidade CT, as alfaces expostas à mesma apenas tiveram acesso às quantidades existentes de azoto no solo, apresentando assim um valor do mesmo muito inferior face às restantes modalidades. No final do ensaio foi possível observar, nesta modalidade, algumas folhas das alfaces amareladas, demonstrando deficiência em azoto (Figura 10).



Figura 10 - Défice de N nas alfaces expostas à modalidade CT.

Em termos de fósforo, as modalidades CM, Br, Al e Ne apresentaram valores muito superiores e estatisticamente diferentes face aos valores apresentados em CT. Estes resultados eram de esperar uma vez que nas modalidades Br, Al e Ne foi aplicado chorume ao solo, que na sua generalidade, é rico neste nutriente (Santos, 2012; Roboredo et al., 2012), e na modalidade CM houve aplicação deste nutriente não só através da aplicação de KH_2PO_4 na adubação de fundo como também através da aplicação de $(\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$ através da adubação de cobertura.

A modalidade CM, apresentou valores superiores e estatisticamente diferentes face às modalidades Br, Al e Ne, mostrando ser a mais eficiente na disponibilidade deste nutriente para as alfaces. Relativamente às modalidades Br, Al e Ne, estas apresentaram valores de P sem diferenças significativas, mostrando que a aplicação de chorume não tratado e de chorume tratado apresentam o mesmo efeito na disponibilidade deste nutriente para as alfaces.

Relativamente ao potássio, foi possível mais uma vez verificar diferenças significativas entre a modalidade CT face às restantes modalidades, uma vez que nesta última não foi aplicado qualquer tipo de adubação. Face às restantes modalidades, surgiram diferenças significativas entre as modalidades Al e Ne em relação às modalidades CM e Br. Tal facto é explicado pelo facto de nas duas primeiras ter sido fornecido KOH

através do tratamento de alcalinização realizado ao chorume, apresentando estas valores de potássio superiores e estatisticamente idênticos.

A aplicação de chorume não tratado demonstrou ter o mesmo efeito na concentração de potássio para as plantas face à aplicação de adubação mineral (não apresentaram diferenças estatísticas mesmo com um resultado inferior em 4 g/Kg no caso na aplicação do chorume não tratado).

A concentração de enxofre apresentou diferenças estatísticas significativas entre modalidades, em especial, naquelas onde foi aplicado chorume face às modalidades CT e CM. A modalidade Ne foi a que apresentou maior concentração uma vez que foi utilizado H_2SO_4 no tratamento de neutralização realizado no chorume aplicado nestes vasos.

No caso do sódio, há que salientar a variação de concentração deste nutriente entre as modalidades CT e CM face às modalidades onde foi aplicado chorume, podendo assim verificar-se que o chorume tem efeito significativo na disponibilidade de sódio para as plantas.

Em termos de cálcio, as modalidades CM e Br apresentaram valores estatisticamente idênticos relativamente ao seu efeito na disponibilidade deste nutriente. Contrariamente, as modalidades Al e Ne apresentaram valores estatisticamente idênticos à modalidade CT, mostrando assim que o aumento do pH não favorece a disponibilidade deste nutriente, apresentando estas valores de cálcio inferiores aos observados na modalidade Br.

Já no caso do magnésio, apenas se verificaram diferenças estatísticas entre a modalidade Br e as restantes modalidades, apresentando a primeira o maior valor deste nutriente.

Micronutrientes

Através do Anexo 8, é possível observar que apenas no boro se verificaram as maiores diferenças entre as modalidades CT e CM, face às modalidades onde foi aplicado chorume. É nestas últimas (Br, Al e Ne) que se verificaram os maiores valores de boro, mostrando assim que a aplicação de chorume tem a vantagem de fornecer outros nutrientes às plantas face à adubação mineral.

4.2.4 Exportação de nutrientes pela alface

Os valores das exportações médias de macronutrientes pelas alfaces, encontram-se descritos no Quadro 15.

Quadro 15 - Exportação média de macronutrientes pela alface. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.

Nutrientes	Modalidades				
	CT	CM	Br	Al	Ne
N (g)	0,03 ^c	0,4 ^a	0,3 ^b	0,2 ^b	0,2 ^b
P (g)	0,004 ^c	0,1 ^a	0,1 ^b	0,1 ^b	0,04 ^b
K (g)	0,03 ^d	0,4 ^{ab}	0,3 ^c	0,5 ^a	0,4 ^b

Azoto, Fósforo e Potássio

Segundo Domingos Almeida (2015), para um peso médio de 244 g de alface, em matéria verde, as exportações de azoto, fósforo e potássio são 0,3689 g N/alface, 0,0333 g P/alface e 0,8908 g K/alface, respetivamente. Face aos pesos obtidos no ensaio em vasos, em matéria verde, as exportações de azoto e fósforo observadas foram superiores às esperadas, contrariamente às exportações de potássio, cujos valores obtidos foram inferiores aos considerados adequados, independentemente da modalidade testada.

Como é possível observar no Quadro 15, foi possível verificar diferenças significativas nas exportações médias de azoto por parte das alfaces expostas à modalidade CM, quando comparada com as modalidades Br, Al e Ne, apresentando a primeira valores de exportação superiores face às restantes. Contudo, não se verificaram diferenças significativas nas exportações de azoto nestas modalidades, sendo possível afirmar que o aumento do pH do chorume não apresenta efeito negativo na exportação deste nutriente face à aplicação de chorume não tratado.

Foi na modalidade Br, dentro das modalidades onde foi aplicado chorume, que se verificaram as maiores exportações de azoto. Este resultado vai de encontro ao esperado, uma vez que foi nas alfaces expostas à modalidade Br que se observaram as maiores produções de matéria seca, dentro das modalidades onde foi aplicado chorume.

Os resultados relativos ao fósforo apresentaram diferenças estatísticas significativas entre a modalidade CM face às modalidades Br, Al e Ne. A seguir à modalidade CT, à qual corresponde a menor exportação média deste nutriente (0,004 g), foi na modalidade Ne que se verificou o menor valor de exportação de fósforo, face às modalidades CM, Br e Al. No entanto, esta não apresentou diferenças significativas em relação às modalidades Br e Al. Desta forma, apesar de terem apresentado valores inferiores, verificou-se que o aumento do pH do chorume não tem um efeito negativo na disponibilidade de fósforo, uma vez que as exportações do mesmo não foram significativamente diferentes nas modalidades Al e Ne face à modalidade Br.

Contudo, em termos de fósforo, a aplicação de chorume não demonstrou ser tão eficiente como a modalidade CM, uma vez que foi nesta última que se verificaram as maiores exportações deste nutriente. Este resultado seria expectável, uma vez que a aplicação de fertilizantes orgânicos pode não promover a disponibilidade total dos nutrientes face à fertilização mineral (Varennnes, 2003).

Em relação ao potássio, foi na modalidade Al que se verificaram as maiores exportações deste nutriente, o que seria de esperar devido, uma vez mais, à aplicação de KOH ao chorume aplicado nesta modalidade. Esta modalidade não apresentou diferenças estatísticas significativas face à modalidade CM, contrariamente ao que se sucedeu com as modalidades Br e Ne, apresentando a modalidade CM exportações de potássio superiores a estas últimas.

Seria de esperar que na modalidade Ne, as exportações de potássio fossem idênticas estatisticamente face às exportações ocorridas na modalidade Al, uma vez que foi utilizado o tratamento de alcalinização em ambas as modalidades. O principal fator que poderá ter influenciado esta diferença é o facto de se ter adicionado ácido sulfúrico na modalidade Ne que, tal como se tem observado ao longo do trabalho, tem influenciado os resultados obtidos.

4.3 Caracterização físico-química do solo ao longo do ensaio em vasos

Recolheram-se amostras de solo de cada uma das modalidades consideradas (18 vasos no total), antes da 1.^a adubação de cobertura (23/04/2019), antes da 2.^a adubação de cobertura (22/05/2019) e no fim do ensaio (03/06/2019). Estas amostras de solo foram, posteriormente, caracterizadas de forma a verificar o efeito das diferentes modalidades nas características do solo ao longo do ensaio.

pH e condutividade elétrica do solo

Os valores de pH e condutividade elétrica (CE) no solo ao longo do ensaio encontram-se no Quadro 16.

Quadro 16 - Valores de pH e CE no solo ao longo do ensaio, para cada modalidade. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.

		CT	CM	Br	Al	Ne
pH	Antes 1. ^a cobertura	6,02 ^a	6,01 ^a	6,13 ^a	6,09 ^a	6,06 ^a
	Antes 2. ^a cobertura	6,09 ^{ab}	5,65 ^b	5,82 ^{ab}	6,28 ^a	5,81 ^{ab}
	Fim do ensaio	6,06 ^b	5,84 ^b	6,13 ^b	7,19 ^a	6,33 ^b
CE ($\mu\text{S/cm}$)	Antes 1. ^a cobertura	37,83 ^b	116,40 ^a	108,35 ^a	104,57 ^a	106,33 ^a
	Antes 2. ^a cobertura	27,59 ^b	46,62 ^b	124,70 ^b	132,57 ^b	103,16 ^b
	Fim do ensaio	28,34 ^c	84,28 ^c	292,70 ^b	299,3 ^b	494,57 ^a

Os resultados obtidos mostraram que até ao momento da 2.^a adubação de cobertura (22/05/2019) ocorreu um decréscimo de pH nas modalidades CM, Br e Ne (Quadro 16). Uma vez que na modalidade Ne foram adicionados tanto o KOH como o H_2SO_4 , era de esperar que o pH obtido nesta se aproximasse do pH obtido na modalidade Br, tal como mostra no Quadro 16, não sendo estas estatisticamente diferentes. Em contrapartida, o pH obtido na modalidade Al aumentou, não sendo, contudo, estatisticamente diferente face aos valores de pH obtidos nas modalidades CT, Br e Ne.

No fim do ensaio, apesar de se terem verificado novamente oscilações no valor do pH, estas foram apenas significativas na modalidade Al, sendo esta a única a apresentar um valor de pH estatisticamente diferente face às restantes modalidades. A aplicação de chorumes no solo, com tratamentos que promovam o aumento do pH, mostra ser vantajoso, uma vez que em Portugal os solos são bastante ácidos, constituindo isso uma desvantagem. No presente ensaio, a aplicação da modalidade Al demonstrou ser eficiente no aumento do pH, tendo-se verificado, no final do ensaio, um valor de pH nesta modalidade dentro na neutralidade.

Relativamente aos valores de CE observaram-se diferenças significativas entre a modalidade CT e as restantes modalidades antes da 1.^a adubação de cobertura, uma vez que esta foi a única que não recebeu adubação mineral de fundo. Uma vez que antes da 1.^a adubação de cobertura todas as restantes modalidades apenas receberam

adubação de fundo, era esperado que os valores de CE fossem estatisticamente idênticos (Quadro 16).

No fim do ensaio, verificou-se um aumento significativo nos valores de CE em todas as modalidades onde foi aplicado chorume no solo face às modalidades CT e CM, mostrando as modalidades Br e Al não serem estatisticamente diferentes. Tal como antes da 2.^a cobertura, as modalidades CT e CM foram estatisticamente idênticas, apresentando os valores de CE mais baixos face às modalidades onde foi aplicado chorume no solo.

Macronutrientes

Os valores de potássio (K) e fósforo (P), expressos na matéria seca, no solo ao longo do ensaio, encontram-se no Quadro 17.

Quadro 17 - Valores de potássio e fósforo no solo ao longo do ensaio, expressos na matéria seca, para cada modalidade. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.

		Modalidades				
		CT	CM	Br	Al	Ne
K (g/kg)	Antes 1. ^a cobertura	0,02 ^b	0,08 ^a	0,08 ^a	0,08 ^a	0,07 ^a
	Antes 2. ^a cobertura	0,01 ^c	0,05 ^{bc}	0,08 ^{abc}	0,14 ^a	0,14 ^a
	Fim do ensaio	0,01 ^d	0,08 ^{cd}	0,12 ^c	0,25 ^{ab}	0,28 ^a
P (g/kg)	Antes 1. ^a cobertura	0,01 ^b	0,04 ^a	0,04 ^a	0,04 ^a	0,04 ^a
	Antes 2. ^a cobertura	0,01 ^c	0,04 ^b	0,05 ^{ab}	0,05 ^{ab}	0,52 ^{ab}
	Fim do ensaio	0,01 ^c	0,06 ^b	0,06 ^{ab}	0,08 ^{ab}	0,08 ^{ab}

Os resultados obtidos mostraram que até ao momento da 1.^a adubação de cobertura, não foram obtidas diferenças significativas em termos de teor de potássio nas diferentes modalidades, exceto na modalidade CT, uma vez que todas elas receberam uma adubação de fundo onde foi fornecida a mesma quantidade de potássio a todos os vasos (Quadro 17).

Após as duas coberturas, verificou-se que as modalidades Al e Ne foram estatisticamente idênticas entre si e diferentes face à modalidade Br, tendo sido observado um aumento significativo de potássio no solo nas duas primeiras, face à

modalidade Br. Este aumento era esperado, uma vez que na duas modalidades foi adicionado KOH no chorume aplicado.

No final do ensaio, comparando os teores de potássio no solo, nas modalidades Al e Ne, a primeira apresentou quantidades inferiores face às verificados na modalidade Ne. Este facto deve-se às maiores exportações de potássio observados na modalidade Al face aos teores exportados na modalidade Ne.

Ao longo de todo o ensaio, as modalidades CT e CM apresentaram sempre teores de potássio no solo inferiores às restantes modalidades, sendo estatisticamente idênticas.

Quanto ao fósforo, tal como sucedido com os teores de potássio, antes da 1.^a cobertura não se verificaram diferenças significativas no teor deste nutriente nas diferentes modalidades, exceto na modalidade CT, devido à adubação de fundo.

Ao longo do ensaio em vasos foi possível verificar um aumento significativo deste nutriente no solo, nas modalidades Br, Al e Ne uma vez que em todas estas houve aplicação de chorume, cujo teor de fósforo é, na maioria das situações, bastante elevado (Santos, 2012; Roboredo et al., 2012).

Quer antes da 2.^a cobertura quer no final do ensaio, as modalidades CM, Br, Al e Ne apresentaram teores de fósforo sem diferenças significativas.

4.4 Eficiência de utilização dos nutrientes

Considerando a eficiência de utilização do azoto aplicado, verificou-se que as três modalidades onde foi aplicado chorume apresentaram um menor aproveitamento de azoto (19,8%, 19,4% e 18,5%, respetivamente) face à modalidade CM (28,2%). Desta forma, é possível verificar que a aplicação da adubação mineral prevalece como a melhor solução face à aplicação de chorume. Este resultado era o esperado uma vez que foi nesta modalidade que se verificaram os menores valores deste nutriente no solo, no final do ensaio, com exportações idênticas às modalidades Al e Ne.

Considerando as modalidades onde foi aplicado chorume, foi na modalidade onde foi aplicado chorume não tratado que se verificou a melhor eficiência de utilização do N-NH₄⁺. No entanto, os resultados obtidos nesta modalidade não foram significativamente diferentes face aos resultados obtidos com a aplicação de chorume alcalinizado e alcalinizado seguido de neutralização.

Comparando a eficiência de utilização de fósforo nas diferentes modalidades (CM, Br, Al e Ne), a adubação mineral exibiu os melhores resultados, uma vez que apresentou

um aproveitamento de fósforo superior (6,01%) face às restantes modalidades (Br: 3,6%, Al: 3,4%, Ne: 2,9%).

Mais uma vez, dentro das modalidades onde foi aplicado chorume, foi na modalidade Br que se verificou a melhor eficiência de utilização de fósforo por parte das alfaces, a seguir à modalidade CM. Este resultado vai de encontro ao esperado, uma vez que foi nesta modalidade onde se verificaram as maiores exportações de fósforo e os menores valores deste no solo, no final do ensaio, face às modalidades Al e Ne. Pelo contrário, a modalidade Ne foi a que apresentou as menores exportações e os maiores teores de fósforo no solo, no final do ensaio, pelo que a utilização deste nutriente pelas plantas não foi eficiente.

Comparando a eficiência de utilização de potássio nas quatro modalidades (CM, Br, Al e Ne), a modalidade CM apresentou o melhor aproveitamento deste nutriente (24,5%) face às modalidades Br, Al e Ne (17,5%, 18,2% e 15,1%, respetivamente). Contrariamente ao que se sucedeu no aproveitamento de azoto e fósforo, dentro das modalidades onde foi aplicado chorume, foi na modalidade Al que se verificou o melhor aproveitamento de potássio. Este facto deve-se à aplicação de maiores quantidades deste nutriente através do tratamento aplicado nesta modalidade, o que permitiu uma maior exportação deste nutriente pelas alfaces expostas a esta modalidade.

No caso da modalidade Ne, também seriam de esperar aproveitamentos de potássio superiores aos verificados na modalidade Br. No entanto, uma vez que na primeira foi aplicado um tratamento de alcalinização seguido de neutralização (esta última através de acidificação) e o efeito da acidificação na exportação e consequente aproveitamento dos nutrientes não foi contabilizado, não foi possível concluir se a acidificação influenciou os resultados obtidos nesta modalidade.

4.5 Emissões gasosas

4.5.1 Gases com efeito de estufa

Metano (CH₄)

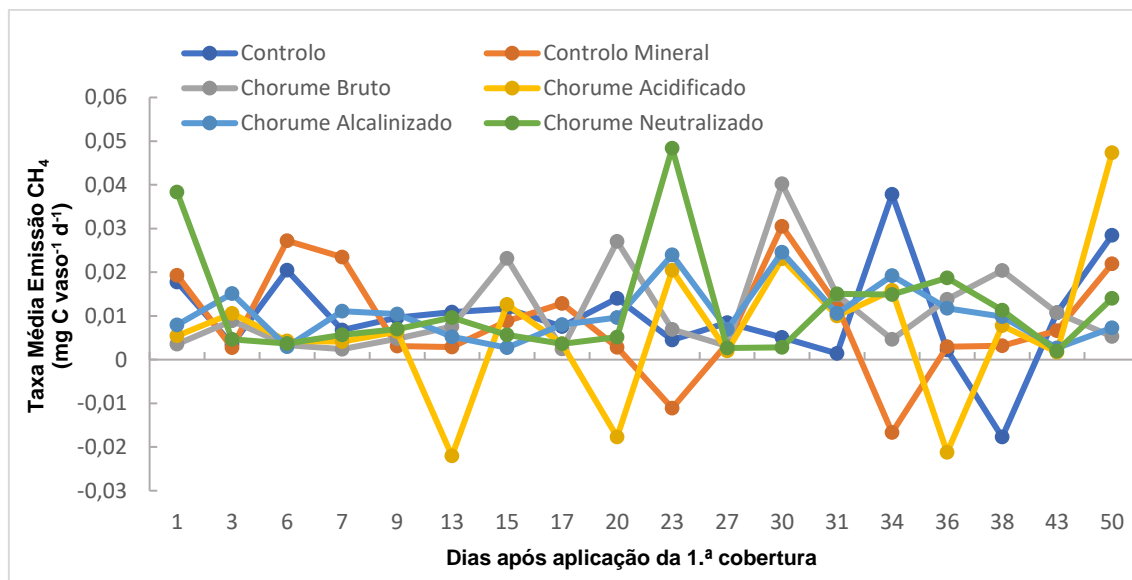


Figura 11 - Efeito das diferentes modalidades testadas nas emissões de CH₄ ao longo do ensaio. Os valores apresentados são médias de 3 repetições.

Um dia após a aplicação da 1.ª adubação de cobertura, as emissões de CH₄ observadas nas modalidades Br, Ac, Al, CM e CT foram inferiores a 0,02 mg C vaso⁻¹ d⁻¹. Na modalidade Ne, a taxa de emissão de CH₄ foi superior a 0,02 mg C vaso⁻¹ d⁻¹. No entanto, as diferenças nas emissões de CH₄ derivadas de todas as modalidades não são significativas, como pode ser observado no Anexo 9.

Segundo resultados obtidos por Fangueiro et al. (2008a), as emissões de CH₄ provenientes da aplicação de chorume não tratado e provenientes da modalidade de controlo não apresentam diferenças significativas um dia após a aplicação da cobertura, tal como observado neste ensaio. No entanto, as emissões de CH₄ provenientes da aplicação de chorume acidificado e chorume não tratado, face à modalidade controlo, demonstraram diferenças significativas nos primeiros oito dias após aplicação da cobertura, o que contraria os resultados obtidos por Fangueiro et al. (2015b).

A oxidação do metano verificou-se em algumas ocasiões, nomeadamente nos dias treze (-0,02 mg C vaso⁻¹ d⁻¹), vinte (-0,02 mg C vaso⁻¹ d⁻¹) e trinta e seis (-0,02 mg C vaso⁻¹ d⁻¹), após a aplicação da 1.ª adubação de cobertura, na modalidade Ac; nos dias vinte e

três ($-0,01 \text{ mg C vaso}^{-1} \text{ d}^{-1}$) e trinta e quatro ($-0,02 \text{ mg C vaso}^{-1} \text{ d}^{-1}$) após a aplicação da 1.^a adubação de cobertura, na modalidade CM, e ainda trinta e oito dias ($-0,02 \text{ mg C vaso}^{-1} \text{ d}^{-1}$), após aplicação da 1.^a adubação de cobertura, na modalidade CT. A razão para que a oxidação do metano ocorra é a presença de oxigénio no solo, permitindo que as bactérias aeróbias presentes no mesmo utilizem este gás como fonte de carbono e energia, reduzindo assim as suas emissões (Teixeira et al., 2009; Rodhe et al., 2006).

Segundo alguns autores (Wang et al., 2014; Fangueiro et al., 2015d; Regueiro et al., 2016a), a acidificação tem efeitos positivos na diminuição das emissões de metano derivadas do chorume, face às emissões verificadas através da aplicação de chorume não tratado. No entanto, através da Figura 11, foi possível verificar oscilações nas emissões de CH_4 nas modalidades Ac e Br. Desta forma, os resultados obtidos referentes à modalidade Ac não vão de encontro aos resultados esperados, face à modalidade Br, uma vez que não se verificou em todos os períodos de medição, emissões na modalidade Ac inferiores às emissões provenientes da modalidade Br.

A produção de metano ocorre em situações de escassez de oxigénio, ou seja, em meio anaeróbio, através da decomposição da matéria orgânica (Regueiro et al., 2016b). Quando as plantas necessitam de mais água (regas mais abundantes), surge uma maior disponibilidade de água no solo para as mesmas, podendo conduzir a situações de anaerobiose, uma vez que a concentração de oxigénio no solo diminui (Morard e Silvestre, 1996). Tal facto pode explicar os picos verificados nos dias vinte ($0,04 \text{ mg C vaso}^{-1} \text{ d}^{-1}$) e trinta ($0,04 \text{ mg C vaso}^{-1} \text{ d}^{-1}$), após a aplicação da 1.^a adubação de cobertura, na modalidade Br; vinte e três dias ($0,05 \text{ mg C vaso}^{-1} \text{ d}^{-1}$) após a aplicação da 1.^a adubação de cobertura, na modalidade Ne; trinta e quatro dias ($0,04 \text{ mg C vaso}^{-1} \text{ d}^{-1}$) após a aplicação da 1.^a adubação de cobertura, na modalidade CT. No geral, entre os vinte e os trinta e quatro dias após a aplicação da 1.^a adubação de cobertura, foi possível verificar, de uma forma geral, que todas as modalidades apresentaram picos de emissão de CH_4 durante este período, corroborando assim o que foi dito anteriormente, uma vez que nesta altura se verificaram temperaturas bastante elevadas no local onde foi realizado o ensaio em vasos, o que tornou necessário fornecer mais água às alfaces, proporcionando assim uma maior probabilidade de produção de metano.

No último dia de medição, foi a modalidade Ac que apresentou a maior taxa de emissão de metano, face às restantes modalidades. Este resultado vai contra aos resultados obtidos por Fangueiro et al. (2015b) e Petersen et al. (2012), cujas emissões de CH_4 provenientes de chorume acidificado não são significativas ao longo do período de

medição, até ao último dia de ensaio, sendo inferiores às emissões da modalidade de controlo e aplicação de chorume não tratado.

As emissões de CH₄ acumuladas ao longo de todo o ensaio estão apresentadas na Figura 12.

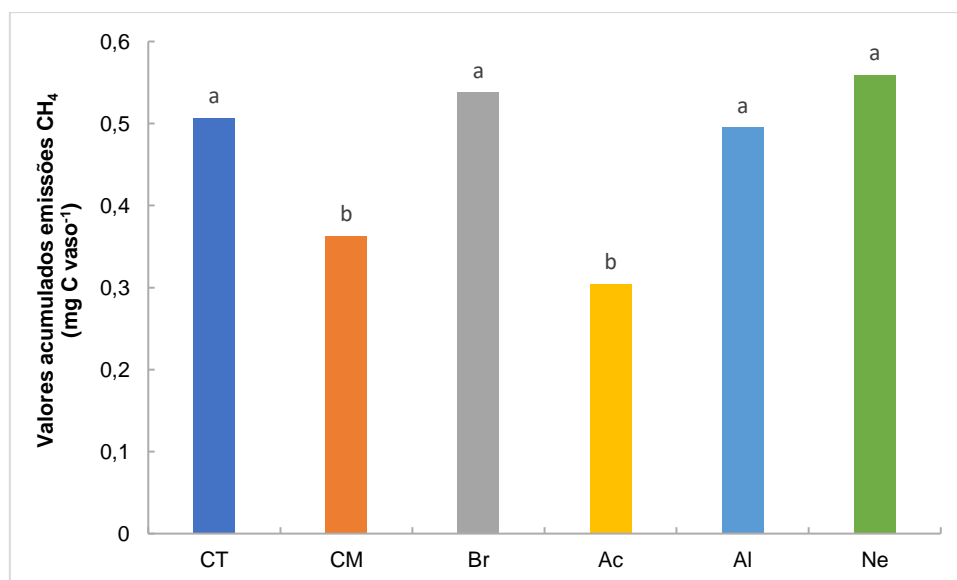


Figura 12 - Valores cumulativos das emissões de CH₄, para cada modalidade. Barras com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.

Através da Figura 12 é possível observar que não existiram diferenças significativas entre as modalidades CT, Br, Al e Ne pelo que estas demonstram apresentar um comportamento idêntico em relação às emissões de CH₄.

É notório que a modalidade que menos contribuiu para as emissões deste gás foi a modalidade Ac, com uma emissão cumulativa de 0,3 mg C vaso⁻¹, indo de encontro ao esperado, tal como provado por Petersen et al. (2012). Dentro das modalidades onde foi aplicado chorume, esta foi a única que não apresentou diferenças significativas face à modalidade CM, em relação ao seu efeito nas emissões cumulativas de CH₄, proporcionando emissões inferiores às emissões verificadas na modalidade CM (0,4 mg C vaso⁻¹), mostrando assim ser uma boa solução face aos adubos minerais.

Comparando as emissões provenientes das restantes modalidades onde foi aplicado chorume (Br, Al e Ne) face à modalidade CM, foi possível observar que as primeiras contribuíram para emissões cumulativas de CH₄ superiores (0,54 mg C vaso⁻¹, 0,5 mg C vaso⁻¹ e 0,6 mg C vaso⁻¹, respetivamente) face às emissões verificadas para a modalidade CM, pelo que a aplicação destas modalidades como fertilizantes orgânicos,

considerando as emissões de CH₄, não demonstrou vantagens significativas face à aplicação de adubos minerais. A modalidade Ne foi aquela que apresentou os resultados menos vantajosos no decorrer do ensaio.

Relativamente à percentagem de perdas de carbono aplicado sob a forma de CH₄, estas não foram muito significativas, estando todas abaixo dos 0,5%, mostrando assim que, de uma forma geral, as perdas de metano representaram uma perda residual de carbono (Anexo 12).

Óxido Nitroso (N₂O)

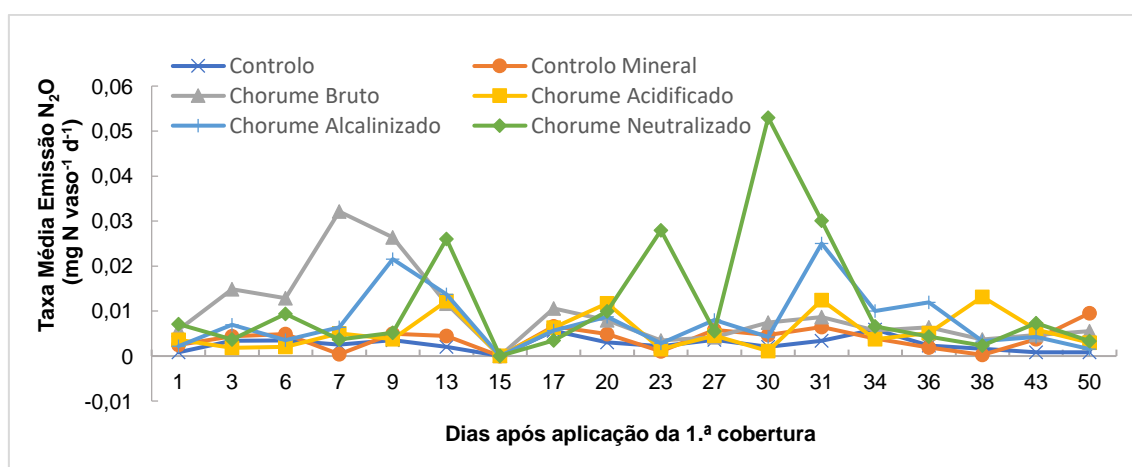


Figura 13 - Efeito das diferentes modalidades testadas nas emissões de N₂O ao longo do ensaio. Os valores apresentados são médias de 3 repetições.

Um dia imediatamente após a 1.ª cobertura, nenhuma das modalidades contribuiu para emissões significativas de óxido nitroso (Figura 13 e Anexo 10). No entanto, ao longo do ensaio, as modalidades Br e Ne foram significativas relativamente ao seu efeito nas emissões deste gás.

A produção de N₂O constitui um subproduto dos processos de nitrificação e desnitrificação realizados por bactérias aeróbias e anaeróbias, respetivamente, presentes no solo (Regueiro et al., 2016b), constituindo a desnitrificação a principal fonte do mesmo. Uma vez que a acidificação, segundo os mesmos autores, tem a capacidade de inibir a nitrificação, por sua vez reduz a produção e consequente emissão deste gás, uma vez que a desnitrificação fica comprometida (Fangueiro et al., 2010).

Segundo Fangueiro et al. (2017), a aplicação de chorume acidificado no solo promove um aumento significativo das emissões de N_2O imediatamente após a sua aplicação face à aplicação de chorume não tratado, não indo de encontro aos resultados obtidos neste ensaio.

Contudo, segundo os mesmos autores, ocorre logo de seguida um decréscimo significativo das emissões de N_2O provenientes da aplicação de chorume acidificado, mantendo-se estas reduzidas e muito semelhantes face às emissões provenientes da aplicação de chorume bruto até ao último dia de medições. Tal é corroborado através dos resultados obtidos neste ensaio e apresentados na Figura 13, uma vez que a modalidade Ac apresentou emissões de N_2O muito inferiores quando comparada com as emissões provenientes das restantes modalidades onde foi aplicado chorume no solo, nos treze dias após a aplicação da 1.^a adubação de cobertura (Anexo 10), apresentando taxas de emissão de N_2O muito semelhantes à modalidade Br, a partir deste dia, até ao final do ensaio.

Nas modalidades CT e CM, as emissões de N_2O não foram significativas, sendo muito inferiores às verificadas nas modalidades Br, Al e Ne ao longo de todo o ensaio.

Da observação dos resultados, foi possível identificar picos de emissão nos dias treze ($0,03 \text{ mg N vaso}^{-1} \text{ d}^{-1}$), vinte e três ($0,03 \text{ mg N vaso}^{-1} \text{ d}^{-1}$) e trinta ($0,05 \text{ mg N vaso}^{-1} \text{ d}^{-1}$) após a aplicação da 1.^a adubação de cobertura, na modalidade Ne. Dado que os estudos realizados e disponibilizados na literatura, face ao efeito desta modalidade nas emissões de N_2O não são significativos, não foi possível afirmar se estes resultados seriam expectáveis. O mesmo sucede com a modalidade Al, onde se verificam picos nos dias nove ($0,02 \text{ mg N vaso}^{-1} \text{ d}^{-1}$) e trinta e um ($0,03 \text{ mg N vaso}^{-1} \text{ d}^{-1}$), após a aplicação da 1.^a adubação de cobertura.

No entanto, uma vez que o aumento do pH tende a favorecer as emissões de NH_3 (Allievi et al., 1994), consequentemente, há uma diminuição de NH_4^+ o que, por sua vez, compromete os processos de nitrificação e desnitrificação. Seria assim possivelmente de esperar uma redução de N_2O nas modalidades onde ocorreu aumento de pH (Al e Ne). Comparando as modalidades Br, Al e Ne, a terceira contribuiu significativamente para um maior número de picos, face às outras duas, emitindo assim mais N_2O . Por outro lado, comparando as modalidades Br e Al, a primeira apresenta um pico de emissão mais significativo.

O pico de emissão verificado na modalidade Br, sete dias após a aplicação do chorume, não confirma os resultados obtidos por Fangueiro et al. (2017), onde o maior pico de emissão com a aplicação de chorume não tratado ocorreu apenas 13 dias após a

aplicação do mesmo no solo. No entanto, noutros estudos realizados pelo mesmo autor, verificaram-se picos de emissão de N_2O sete dias (Fangueiro et al., 2008a) e um, oito e catorze dias (Fangueiro et al., 2015d) após a aplicação de chorume não tratado no solo.

Após 31 dias da aplicação da 1.^a adubação de cobertura até ao último dia de medições, ocorreu um decréscimo das emissões em todas as modalidades, não sendo estas significativas no último dia de medições (Fangueiro et al., 2017; Fangueiro et al. 2008a).

As emissões de N_2O acumuladas ao longo de todo o ensaio estão apresentadas na Figura 14.

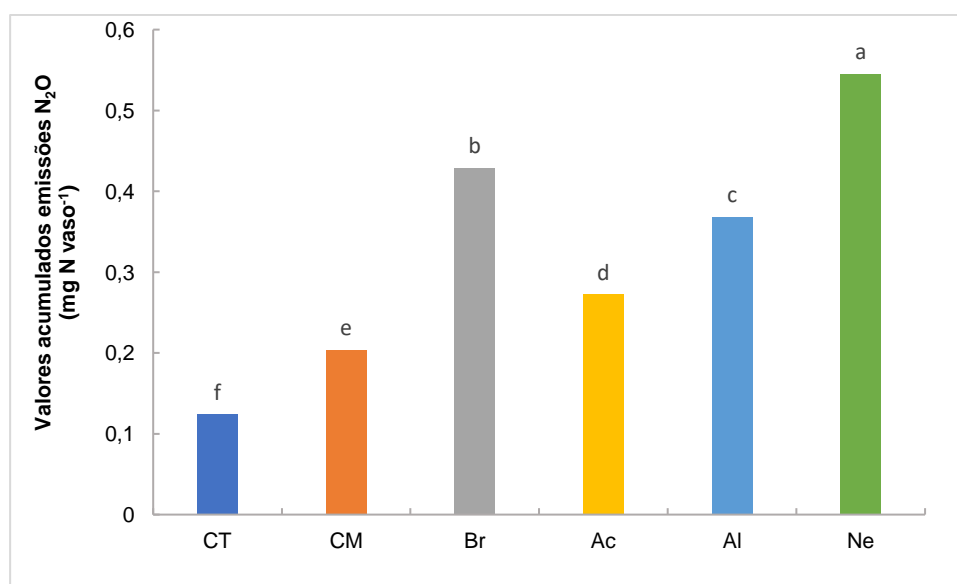


Figura 14 - Valores cumulativos das emissões de N_2O , para cada modalidade. Barras com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.

Através da Figura 14, é possível observar que todas modalidades aplicadas apresentaram diferenças significativas entre si. Foi na modalidade Ne que se verificaram as maiores emissões de N_2O , seguida das modalidades Br e Al.

Foi possível verificar que a aplicação de chorume no solo como fertilizante orgânico aumentou as emissões de N_2O (Br: 0,4 mg N vaso⁻¹, Ac: 0,3 mg N vaso⁻¹, Al: 0,4 mg N vaso⁻¹, Ne: 0,5 mg N vaso⁻¹), relativamente aos adubos minerais (0,2 mg N vaso⁻¹).

Nas modalidades onde foi aplicado chorume, foi na modalidade Ac que se verificaram as menores emissões de N_2O , não exibindo estas contudo, semelhanças estatísticas face às emissões provenientes da modalidade CM. É possível concluir que nenhuma das modalidades onde foi aplicado chorume demonstrou ser mais eficiente quando comparadas com a modalidade CM, face às emissões de N_2O .

Segundo Fangueiro et al. (2015b), a aplicação de chorume acidificado promove uma redução de N_2O face à aplicação de chorume não tratado, apresentando diferenças significativas entre si, tal como demonstrado neste ensaio. Ainda segundo os mesmos autores, ambas as modalidades contribuem para maiores emissões de N_2O face à modalidade de controlo.

Contudo, em todas as modalidades, as perdas de N aplicado sob a forma de N_2O representaram menos de 0,5% do azoto aplicado (Anexo 12) pelo que, de uma forma geral, as perdas de óxido nitroso representaram uma perda residual de azoto.

4.5.2 Amoníaco (NH_3)

No decorrer do ensaio foram realizadas duas adubações de cobertura, nas quais foram determinadas as emissões de amoníaco, nos quatro dias após cada uma das mesmas. No entanto, optou-se por apresentar apenas os resultados obtidos após a 1.^a cobertura uma vez que, no momento da 2.^a cobertura, as alfaces já se apresentavam com um elevado crescimento vegetativo, impedindo a correta amostragem do ar dentro das câmaras aquando das medições (ocupavam grande parte do espaço), promovendo a deposição de amoníaco sobre as suas folhas, proporcionando assim menores emissões do mesmo.

Na Figura 15 e no Anexo 11 são apresentados os resultados das emissões relativas ao amoníaco, correspondendo estes apenas a resultados obtidos após a 1.^a adubação de cobertura.

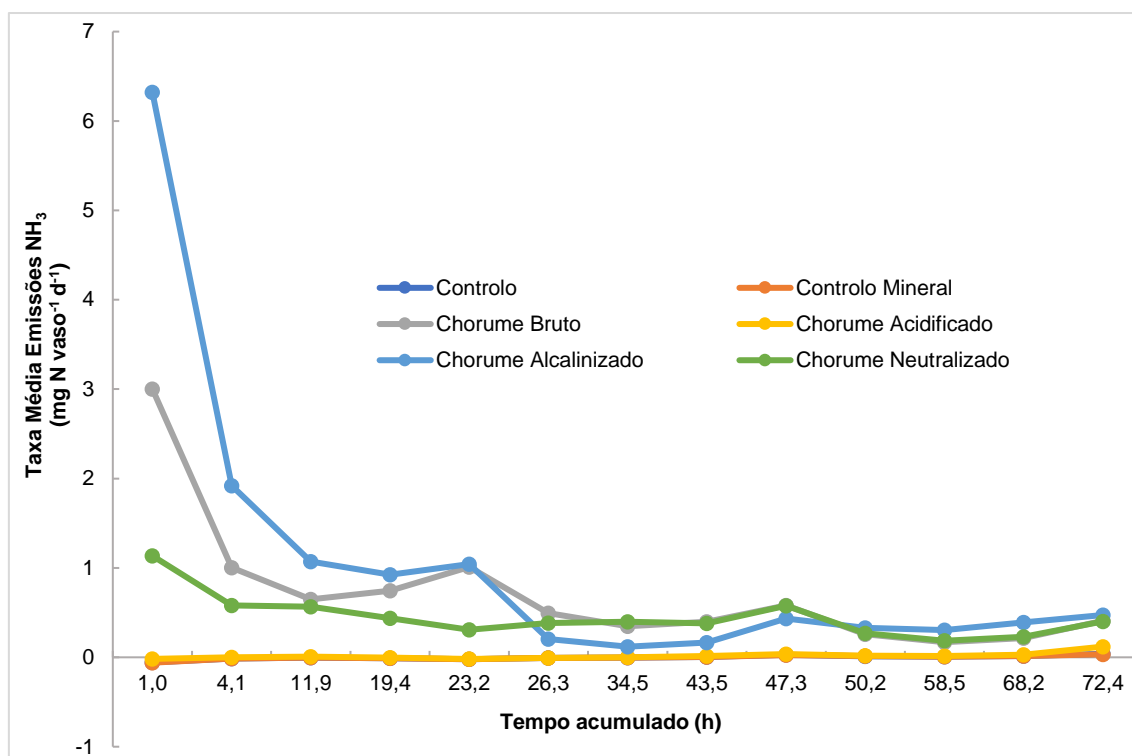


Figura 15 - Efeito das diferentes modalidades testadas nas emissões de NH_3 . Os valores apresentados são médias de 3 repetições.

Um dia após a aplicação da 1.^a adubação de cobertura, foi possível observar as elevadas taxas de emissão de amoníaco verificadas nas modalidades Al, Ne e Br face às modalidades CT, CM e Ac, diferindo as três primeiras estatisticamente (Anexo 11). Tais resultados eram de esperar nas modalidades Al e Ne, uma vez que o tratamento aplicado nestas modalidades consistiu no aumento de pH do chorume o que, por sua vez, promove a libertação de NH_3 para a atmosfera (Allievi et al., 1994; Ottoson et al., 2008).

A modalidade Br, apesar de não ter sido exposta a qualquer alteração de pH, apresentou, ao longo de quase todo o ensaio, taxas de emissão de amoníaco superiores à modalidade Ne. Uma das possíveis razões para que tal tenha sucedido é o facto de na modalidade Ne, apesar de ter ocorrido um aumento de pH que favorece maiores emissões, ocorreu logo de seguida um novo decréscimo de pH (acidificação) o que pode, por sua vez, ter inibido essa mesma emissão. No entanto, as emissões na modalidade Ne face à modalidade Ac foram superiores uma vez que o seu pH foi superior (aproximadamente neutro).

Em todas as modalidades, surgiu uma tendência para o decréscimo das emissões de amoníaco ao longo do período de medições, terminando este período com emissões pouco significativas para todas as modalidades.

No caso da modalidade Ac, os resultados obtidos foram os esperados. Tal como mencionado anteriormente, a acidificação favorece a mineralização, aumentando assim a concentração de N-NH_4^+ (Fangueiro et al., 2010). Uma vez que a redução do pH interfere no equilíbrio $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ e a acidificação favorece a produção de NH_4^+ , há um conseqüente decréscimo de NH_3 , provando assim que a acidificação reduz as emissões do mesmo (Fangueiro et al., 2015a; Fangueiro et al., 2017).

Segundo Fangueiro et al. (2015d; 2018), as emissões de NH_3 provenientes da acidificação do chorume são idênticas às emitidas pela modalidade de controlo ao longo de todo o período de medição, apresentando estas um valor aproximadamente igual a zero, tal como comprovado neste ensaio.

Contrariamente, segundo os mesmos autores, e tal como comprovado neste ensaio, a modalidade Br apresentou emissões significativas deste gás durante as primeiras 24h de medição, face à modalidade de controlo e à aplicação de chorume acidificado, tendo a primeira uma tendência para reduzir a taxa de emissão ao longo do tempo, acabando por estabilizar as emissões até ao final do período de medições.

De uma forma geral, o comportamento das diferentes modalidades relativamente ao seu efeito nas emissões de NH_3 foi o esperado.

As emissões de NH_3 acumuladas observadas após a 1.^a adubação de cobertura são apresentadas na Figura 16.

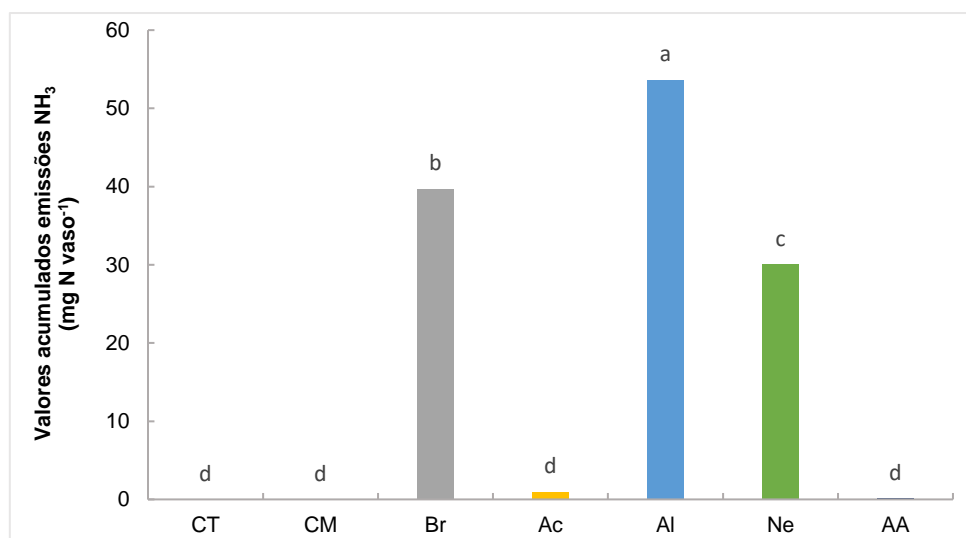


Figura 16 - Valores cumulativos das emissões de NH₃, para cada modalidade. Barras com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias de 3 repetições.

Através da Figura 16, observa-se uma diferença significativa das emissões provenientes da modalidade CM face às modalidades onde foi aplicado chorume.

Entre as modalidades onde foi aplicado chorume, todas elas apresentaram emissões de NH₃ estatisticamente diferentes entre si, mostrando assim efeitos distintos significativos em relação à emissão deste gás. Como seria de esperar, foi nas modalidades Al e Ne que se verificaram os maiores valores cumulativos médios de emissões de NH₃ (53,7 mg N vaso⁻¹ e 30,1 mg N vaso⁻¹, respetivamente), muito superiores ao valor observado na modalidade CM (0,06 mg N vaso⁻¹). O mesmo sucedeu com a modalidade Br (39,7 mg N vaso⁻¹) que apresentou igualmente emissões de NH₃ muito superiores à modalidade CM, ainda que inferiores face às modalidades Al e Ne.

Relativamente à modalidade Ac (0,96 mg N vaso⁻¹), esta foi a única das modalidades onde foi aplicado chorume que apresentou valores de emissões de NH₃ estatisticamente idênticos face às modalidades CM e CT. Este resultado era o esperado, uma vez que a diminuição do pH promove a diminuição da emissões de NH₃ (Fangueiro et al., 2015a; Fangueiro et al., 2017).

Embora tenha apresentado um valor superior à modalidade CM, a diferença entre ambas não foi significativa pelo que a aplicação desta modalidade poderá constituir uma solução à aplicação de adubos minerais, face às emissões de NH₃, uma vez que promove emissões desse gás muito próximas das verificadas com adubo mineral.

As perdas de azoto através de NH_3 são muito superiores face às perdas deste nutriente sob a forma de N_2O (Anexo 12).

Na modalidade Al perdeu-se 6,1% do azoto aplicado sob a forma de NH_3 . Seria de esperar que a modalidade Ne apresentasse uma taxa de perda idêntica face às perdas verificadas na modalidade Br (3,3% e 3,9, respetivamente).

As perdas de azoto sob a forma de NH_3 na modalidade Al representaram 17,9% do NH_4^+ aplicado, o que poderá ter afetado a disponibilidade do nutriente para as plantas nesta modalidade.

4.6 Síntese de resultados

A necessidade de encontrar novas soluções de fertilização de forma a reduzir a aplicação de fertilizantes minerais tem aumentado significativamente, uma vez que os últimos contribuem para os elevados custos de produção associados à agricultura, constituindo uma das possíveis soluções a aplicação de chorume animal.

No presente estudo foram testados diferentes tratamentos aplicados ao chorume de forma a averiguar qual dos mesmos permitiria não só eliminar/inibir os microrganismos patogénicos do mesmo, garantindo a sua correta higienização, como também permitiria uma maior disponibilidade de nutrientes para as plantas, neste caso para a alface, e ainda reduzir as emissões de NH_3 , CH_4 e N_2O , tendo sempre como referência a aplicação de adubação mineral.

Todos os tratamentos aplicados, demonstraram ser eficientes na eliminação/inibição dos microrganismos patogénicos, nomeadamente na *Escherichia coli*, uma vez que, após análise microbiológica das alfaces, verificou-se que, mesmo na modalidade onde se utilizou chorume não tratado, as alfaces não apresentavam presença de *Escherichia coli*. Apesar dos resultados obtidos serem animadores, o presente ensaio foi realizado em pequena escala pelo que a realização de mais estudos será fundamental, de forma a averiguar se há ou não possibilidade de contaminação das hortícolas por parte dos microrganismos presentes no chorume.

No entanto, em termos produtivos, a acidificação, demonstrou não ser adequada, uma vez que contribuiu para a morte de duas das três alfaces expostas a este tratamento.

Em termos de matéria seca produzida, a aplicação de chorume tratado e não tratado demonstrou comprometer a produção face à produção obtida com recurso à adubação mineral, mostrando assim que a adubação mineral continua a ser a melhor opção, em

termos de produção. O mesmo sucedeu com a concentração de nutrientes nas alfaces, tendo a aplicação de adubação mineral, de uma forma geral, contribuído para uma maior concentração de nutrientes nas alfaces.

No que se refere às exportações de nutrientes, quando comparadas a aplicação de chorume tratado e não tratado com a aplicação de adubo mineral, as diferenças não são significativas entre modalidades. No entanto, uma vez que a produção ficou comprometida com a aplicação de chorume tratado e não tratado face à aplicação de adubação mineral, esta última demonstrou mais uma vez ser mais eficiente.

Relativamente às emissões de NH_3 , foi a alcalinização do chorume que mais contribuiu para as emissões deste gás para a atmosfera, seguida da aplicação de chorume não tratado e chorume alcalinizado seguido de neutralização. Face à aplicação de adubos minerais, apenas a acidificação do chorume mostrou ser eficiente na redução significativa das emissões deste gás, constituindo assim a única modalidade passível de poder substituir a adubação mineral relativamente às emissões de NH_3 .

Nas emissões de GEE para a atmosfera, foram a aplicação de chorume não tratado, chorume alcalinizado e chorume alcalinizado seguido de neutralização que mais contribuíram para as emissões destes gases, constituindo estas as que mais impactos negativos acarretam para o ambiente.

A aplicação de chorume alcalinizado seguido de neutralização, por sua vez, não apresentou qualquer vantagem face às restantes modalidades, uma vez que apresentou sempre resultados inferiores e mais desfavoráveis, quer em termos de efeito na exportação de nutrientes quer em termos do seu impacto nas emissões gasosas, pelo que constitui o tratamento menos eficaz e menos provável de vir a ser aplicado futuramente.

5. Conclusões

Face ao objetivo proposto para este trabalho, a higienização do chorume para posterior aplicação deste no solo como adubação de cobertura em hortícolas mostrou apresentar potencialidades relativamente à sua execução, uma vez que os resultados obtidos ao longo do trabalho não diferiram significativamente dos resultados referentes à aplicação de adubos minerais. No entanto, o tratamento a aplicar ao chorume deve ser tido em consideração uma vez que os diferentes tratamentos aplicados demonstraram atuar de formas distintas entre si.

Se na disponibilidade, exportação e eficiência de utilização de nutrientes foi a aplicação de chorume não tratado que apresentou os melhores resultados face à adubação mineral, no caso das emissões gasosas foi a aplicação de chorume acidificado que mais contribuiu, de uma forma geral, para a redução destas emissões.

Mais estudos serão ainda necessários de forma a perceber até que ponto a aplicação de chorume animal na horticultura é viável, quer em termos económicos quer em termos agronómicos. Contudo, acredita-se que poderá vir a constituir uma boa solução face aos fertilizantes minerais, uma vez que acarreta inúmeras vantagens e, tal como provado ao longo desta dissertação, é possível eliminar, ou pelo menos reduzir em grande parte, as desvantagens que a sua aplicação implica, através da sua higienização.

A aplicação das modalidades testadas em ensaios com outras hortícolas, de forma a perceber se o comportamento das mesmas é idêntico ou se a planta tem influência no efeito dos diferentes tratamentos, mas também a aposta noutros aditivos para a realização do tratamento de acidificação no chorume, uma vez que a utilização de ácidos mais fracos poderá evitar a morte das alfaces, poderão ser alguns dos estudos que permitirão obter conclusões acerca do tema aqui apresentado.

6. Referências Bibliográficas

- Albornoz, F. e Lieth, J.H. (2015). Over fertilization limits lettuce productivity because of osmotic stress. *Chilean Journal of Agricultural Research*.
- Albornoz, F., Vilches, I., Contreras, S. (2019). Managing lettuce seed quality through nitrogen nutrition in soilless production. *Scientia Horticulturae*, 252: 169-175.
- Allievi, L., Colombi, A., Calcaterra, E., Ferrari, A. (1994). Inactivation of fecal bacteria in sewage sludge by alkaline treatment. *Bioresource Technology*, 49: 25-30.
- Antezana, W., Blas, C., García-Rebollar, P., Rodríguez, C., Baccaccia, A., Ferrer, P., Cerisuelo, A., Moset, V., Estellés, F., Cambra-López, M., Calvet, S. (2016). Composition, potencial emissions and agricultural value of pig slurry from Spanish commercial farms. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 104: 159-173.
- APHA. (1998). Standard Methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation. (20ª edição). EUA, Washington.
- Bernal, M., e Roig, A. (1993). The influence of pig slurry fertilisation on the mineral content of horticultural crops grown in calcareous soils. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 62: 129-135.
- Chadwick, D., Sommer, S., Thorman, R., Fanguero, D., Cardenas, L., Amon, B., Misselbrook, T. (2011). Manure management: Implications for greenhouse gas emissions. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167: 514-531.
- Cushman, K. e Snyder, R. (2002). Swine effluent compared to inorganic fertilizers for tomato production. *Journal of Plant Nutrition*, 25: 809-820.
- Comissão Europeia. (2018). Boletim Anual sobre Perspetivas Agrícolas da União Europeia 2018-2030.
- Decreto-Lei 103/2015 de 15 de Junho. Diário da República nº114/2015 – 1.ª Série. *Ministério da Economia*.
- Domingos Almeida. (2015). Manual de Culturas Hortícolas. (3ª edição), Lisboa: *Editorial Presença*.
- Égner, H., Rhiem, H., Domingo, W. (1960). Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der

Böden. II. *Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor und Kaliumbestimmung. K. Lantbrukshögskolan Ann*, 26: 199–215.

Eriksen, J., Sorensen, P., Elsgaard, L. (2008). The fate of sulfate in acidified pig slurry during storage and following application to cropped soil. *Journal of Environmental Quality*, 31 (1): 280-286.

Fangueiro, D., Senbayran, M., Trindade, H., Chadwick, D. (2008). Cattle slurry treatment by screw press separation and chemically enhanced settling: Effect on greenhouse gas emissions after land spreading and grass yield. *Bioresource Technology*, 99: 7132-7142.

Fangueiro, D., Ribeiro, H., Vasconcelos, E., Coutinho, J., & Cabral, F. (2009). Treatment by acidification followed by solid-liquid separation affects slurry and slurry fractions composition and their potential of N mineralization. *Bioresource Technology*, 100: 4914-4917.

Fangueiro, D., Ribeiro, H., Coutinho, J., Cardenas, L., Trindade, H., Cunha-Queda, C., Vasconcelos, E., Cabral, F. (2010). Nitrogen mineralization and CO₂ and NO₂ emissions in a sandy soil amended with original or acidified pig slurries or with the relative fractions. *Biology and Fertility of Soils*, 46: 383-391.

Fangueiro, D., Ribeiro, H., Vasconcelos, E., Coutinho, E., Cabral, F. (2012). Influence of animal slurries composition and relative particle size fractions on the C and N mineralization following soil incorporation. *Biomass and Bioenergy*, 47: 50-61.

Fangueiro, D., Coutinho, J., Borges, L., Cabral, F. (2013). Nitrogen and carbon availability of liquid and solid fractions of pig slurry obtained using different separation technologies. *Biology and Fertility of Soils*, 50: 333-341.

Fangueiro, D., Surgy, S., Napier, V., Menaia, J., Vasconcelos, E., Coutinho, J. (2014). Impact of slurry management strategies on potential leaching of nutrients and pathogens in a sandy soil amended with cattle slurry. *Journal of Environmental Management*, 146: 198-205.

Fangueiro, D., Hjorth, M., Gioelli, F. (2015a). Acidification of animal slurry - a review. *Journal of Environmental Management*, 149: 46-56.

Fangueiro, D., Surgy, S., Fraga, I., Cabral, F., Coutinho, J. (2015b). Band application of treated cattle slurry as an alternative to slurry injection: Implications for gaseous emissions, soil quality, and plant growth. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 211: 102-111.

- Fangueiro, D., Surgy, S., Fraga, I., Vasconcelos, E., Coutinho, J. (2015c). Acid treatment of animal slurries: potential and limitations. *Cambridge: International Fertilizer Society*.
- Fangueiro, D., Pereira, J., Bichana, A., Surgy, S., Cabral, F., Coutinho, J. (2015d). Effects of cattle-slurry treatment by acidification and separation on nitrogen dynamics and global warming potencial after surface application to an acidic soil. *Journal of Environmental Management*, 162: 1-8.
- Fangueiro, D., Pereira, J.L.S., Macedo, S., Trindade, H., Vasconcelos, E., Coutinho, J. (2017). Surface application of acidified cattle slurry compared to slurry injection: Impact on NH₃, N₂O, CO₂ and CH₄ emissions and crop uptake. *Geoderma*, 306: 160-166.
- Fangueiro, D., L.S. Pereira, J., Fraga, I., Surgy, S., Vaconcelos, E., Coutinho, J. (2018). Band application of acidified slurry as an alternative to slurry injection in a Mediterranean double cropping system: Agronomic effect and gaseous emissions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 267: 87-99.
- Fernandes, R. (2017). Fertilização orgânica - algumas considerações. *Vida Rural*.
- Filgueira, R. (2003). Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. (2.^a edição). *UFV*.
- Gomes, T., Modolo, V., Botrel, T., Oliveira, R. (2005). Aplicação de doses de CO₂ via água de irrigação na cultura da alface. *Horticultura Brasileira*. Brasília, v.23, n.2, p.316-319.
- Hanson, W.C. (1950). The photometric determination of phosphorus in fertilizers using the phosphovanado-molybdate complex. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1(6), 172-173.
- Hatfield, J., Brumm, M., & Melvin, S. (1998). Swine Manure Management - Agricultural Uses of Municipal, Animal, and Industrial Byproducts, Chapter 4, nº44. *USDA. Agricultural Research Service*.
- Hjorth, M., Cocolo, G., Jonassen, K., Abildgaard, L., Sommer, S. (2015). Continuous in-house acidification affecting animal slurry composition. *Biosystems Engineering*, 132: 56-60.
- Horneck, D.A. e Miller, R.O. (1998). Determination of total nitrogen in plant tissue. Em: Kalra, Y.P. Handbook of reference methods for plant analysis. *CRC, Boca Raton*, pp 75-83.

- INE (Instituto Nacional de Estatística). (2019). Estatísticas Agrícolas 2018. Lisboa.
- INE (Instituto Nacional de Estatística). (2011). Recenseamento Agrícola 2009 – Análise dos principais resultados. Lisboa, Portugal.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2014). Greenhouse Gas Protocol: Global Warming Potencial Values. *United Kingdom: Cambridge University*.
- Jones, A., Panagos, P., Barcelo, S., Bouraoui, F., Bosco, C., Dewitte, O., Gardi, C., Erhard, M., Hervás, J., Hiederer, R., Jeffery, S., Lukewille, A., Marmo, L., Montanarella L., Olazábal, C., Petersen, J., Penizek, V., Strassburger, T., Tóth, G., Van Den Eeckhaut, M., Van Liedekerke, M., Verheijen, F., Viestova E., Yigini, Y. (2012). The state of soil in Europe – A contribution of the JRC to the European Environment Agency's Environment State and Outlook Report – SOER 2010. *Publications Office of the European Union, Luxembourg*, p.76.
- Kai, P., Pedersen, P., Jensen, J.E., Hansen, M.N., Sommer, S.G. (2008). A whole-farm assessment of the efficacy of slurry acidification in reducing ammonia emissions. *European Journal of Agronomy*, 28: 148-154.
- Kalra, Y.P, Maynard, D.G. (1998). Microwave digestion of plant tissue in an open vessel. Em: Kalra, Y.P. Handbook of reference methods for plant analysis. *CRC, Boca Raton*, pp 63-67.
- Lakanen, E. e Ervio, R. (1971). A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agr. Fenn*, 123: 232-233.
- Marmo, L., Feix, I., Bourmeau, E., Amlinger, F., Bannick, C.G., de Neve, S., Favoino, E., Gendebien, A., Gilbert, M., Leifert, I., Morris, R., Rodriguez Cruz, A., Ruck, F., Siebert, S., Tittarelli, F. (2009). Task Group 4 on Exogenous Organic Matter. *Organic Matter and Biodiversity*, EU.
- Martinez, J. e Burton, C. (2003). Manure management and treatment: an overview of the European situation. *Livestock and Municipal Waste Management Research*, Mexico.
- Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. (1997). Código das Boas Práticas Agrícolas para a proteção da água contra a poluição com nitratos de origem agrícola. Lisboa: *MADRP*.
- Ministério da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas. (2007). Horticultura. Lisboa: *MADRP*.

- Morard P. e Silvestre, J. (1996). Plant injury due to oxygen deficiency in the root environment of soilless culture: A review. *Plant and Soil*, 184: 243-254.
- Nyambe, S., Burgess, C., Whyte, P., O'Kiely, P., Bolton, D. (2017). The fate of verocytotoxigenic *Escherichia coli* C600φ3538(Δvtx2::cat) and its vtx2prophage during grass silage preparation. *Journal of Applied Microbiology*, 122: 1197-1206.
- Ottoson, J., Nordin, A., Rosen, D. von, Vinneras, B. (2008). Salmonella reduction in manure by the addition of urea and ammonia. *Bioresource Technology*, 99: 1610-1615.
- Petersen, Søren., Andersen, Astrid., Eriksen, Jørgen. (2012). Effects of cattle slurry acidification on ammonia and methane evolution during storage. *Journal of Environmental Quality*, 41: 88-94.
- PNIR. (2019). Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990-2017. Submitted Under the Artº 5 and 7 of Regulation (EU) No. 525/2013 of the European Parliament and of the Council on the Greenhouse Gas Monitoring Mechanism (MMR). *Agência Portuguesa do Ambiente, Amadora*.
- Portaria n.º 631/2009 de 9 de Junho. Diário da República nº111 – 1.ª Série. *Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional e da Agricultura, do Desenvolvimento Rural e das Pescas*.
- Regueiro, I., Coutinho, J., Balsari, P., Popovic, O., Fanguero, D. (2015). Acidification of pig slurry before separation to improve slurry management on farms. *Environmental Technology*, 37: 1906-1913.
- Regueiro, I., Coutinho, J., & Fanguero, D. (2016a). Alternatives to sulfuric acid for slurry acidification: impact on slurry composition and ammonia emissions during storage. *Journal of Cleaner Production*, xxx: 1-12.
- Regueiro, I., Coutinho, J., Gioelli, F., Balsari, P., Dinuccio, E., Fanguero, D. (2016b). Acidification of raw and co-digested pig slurries with alum before mechanical separation reduces gaseous emission during storage of solid and liquid fractions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 227: 42-51.
- Roboredo, M., Fanguero, D., Lage, S., & Coutinho, J. (2012). Phosphorus dynamics in soils amended with acidified pig slurry and derived solid fraction. *Geoderma*, 189-190 - 328-333.

- Rodhe, L., Pell, M., Yamulki, S. (2006). Nitrous oxide, methane and ammonia emissions following slurry spreading on grassland. *Soil Use and Management*, 22: 229-237.
- Santos, Q. (2012). Fertilização: Fundamentos da Utilização dos Adubos e Corretivos. (4ª edição) . Lousã: *Publicações Europa-América*.
- Soares, A.S., Miranda, C., Teixeira, C.A., Coutinho, J., Trindade, H., Coelho, A.C. (2019). Impact of different treatments on *Escherichia coli* during storage of cattle slurry. *Journal of Environmental Management*, 236: 323-327.
- Sommer, S.G., Zhang, G.Q., Bannink, A., Chadwick, D., Misselbrook, T., Harrison, R., Hutchings, N.J., Oenema, O., Webb, J. (2006). Algorithms determining ammonia emission from buildings housing cattle and pigs and from manure stores. *Advances in Agronomy*, 89: 261-335.
- Sommer, S.G., Christensen, M.L., Schmidt, T., Jensen, L.S. (2013). *Sanitation and Hygiene in Manure Management. Animal Manure Recycling*, pp. 91-104.
- Sorensen, P. e Eriksen, J. (2009). Effects of slurry acidification with sulphuric acid combined with aeration on the turnover and plant availability of nitrogen. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 131: 240-246.
- Sylvestre, T, Braos, L.B., Filho, F.B., Cruz, M.C.P., Ferreira, M.E. (2019). Mineral nitrogen fertilization effects on lettuce crop yield and nitrogen leaching. *Scientia Horticulturae*, 255: 153-160.
- Tavares, H. (1988). A cultura da alface. Lisboa: *Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação*.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108: 20260-20264.
- U.S. (1998). Guide to Minimize Microbial Food Safety Hazards for fresh Fruits and Vegetables. *Department of Health and Human Services*, Washington D.C, pp. 1-40.
- Wang, K., Huang, D., Ying, H., & Luo, H. (2014). Effects of acidification during storage on emissions of methane, ammonia, and hydrogen sulfide from digested pig slurry. *ScienceDirect*, 122: 23-30.

Yuri, J.E., Mota, J.H., Resende, G.M., Souza, R.J. (2016). *Nutrição e adubação de hortaliças: Nutrição e adubação da cultura da alface (capítulo 21)*. Brasil, Jaboticabal.

Teixeira, C., Torves, J., Finotti, A., Fedrizzi, F., Marinho, F., Teixeira, P. (2009). *Studies on the aerobic methane oxidation at three sanitary landfills covers in Brazil. Engenharia Sanitária e Ambiental*, pp. 99-108.

Varenes, A. (2003). *Produtividade dos Solos e Ambiente*. Lisboa: Escolar Editora.

7. Anexos

Anexo 1 – Parâmetros avaliados na caracterização dos diferentes chorumes e respetivos métodos utilizados.

Parâmetro	Descrição do Método
pH	(APHA, 1998)
Condutividade elétrica (CE)	
Matéria seca (MS)	(Regueiro et al., 2016a)
Matéria orgânica (MO)	
Azoto total (NT)	(Horneck e Miller, 1998)
Azoto amoniacal (NH_4^+)	(APHA, 1998)
Fósforo total (PT), Potássio (K), Sódio (Na), Magnésio (Mg), Cálcio (Ca), Cobre (Cu), Zinco (Zn)	

Anexo 2 – Parâmetros avaliados em cada uma das amostras de solo e respetivos métodos utilizados.

Parâmetro	Descrição do Método
pH e Condutividade elétrica (CE)	(Fangueiro et al., 2015d)
Carbono Total	-----
Azoto amoniacal (NH_4^+) e Azoto nítrico (NO_3^-)	(Fangueiro et al., 2015d; APHA, 1998)
Fósforo extraível, Potássio extraível e Bases de troca (K, Na, Ca, Mg)	(Égner et al., 1960; APHA, 1998)
Microelementos extraíveis (Fe, Zn, Cu, Mn)	(Lakanen e Ervio, 1971; APHA, 1998)

Anexo 3 – Quantidades médias de 3 repetições de cada aditivo (Hidróxidos e Nitrogenados) testado nos ensaios de alcalinização para atingir os diferentes pH.

Hidróxidos				
Chorume Suíno (500g)		pH		
		9,0	10,0	11,0
KOH (P)	pH obtido	9,0	10,1	11,0
	massa (g)	2,0	5,5	9,5
	Proporção (m:m)	0,4%	1,1%	1,9%
Ca(OH) ₂ (P)	pH obtido	9,1	10,1	11,1
	massa (g)	3,0	5,5	8,0
	Proporção (m:m)	0,6%	1,1%	1,6%
NaOH (P)	pH obtido	9,1	10,0	11,0
	massa (g)	1,5	3,5	6,0
	Proporção (m:m)	0,3%	0,7%	1,2%

Nitrogenados				
Chorume Suíno (500g)		pH		
		9,0	10,0	11,0
Ureia (P)	pH obtido	9,0	Atenção: cinética (<10g)	
	massa (g)	2,5		
	Proporção (m:m)	0,5%		
NH ₃ (S)	pH obtido	9,2	10,0	10,9
	volume (mL)	3,0	11,0	50,0
	Proporção (v:m)	0,6%	2,2%	10,0%

Anexo 4 – Resultados das análises microbiológicas ao chorume acidificado nos ensaios de higienização.

Chorume	pH	<i>E. coli</i> (UFC/g)
Chorume não tratado	6.9 – 7.2	10 ⁵
Chorume Acidificado	5.5	10 ³
	5.0	<100
	4.5	<100
	3.5	<100

Anexo 5 – Resultados das análises microbiológicas ao chorume alcalinizado nos ensaios de higienização.

Chorume	pH	<i>E. coli</i> (UFC/g)
Chorume não tratado	6.9 – 7.2	10 ⁵
Chorume Alcalinizado	9.0	10 ⁵
	9.5	<100
	10.0	<100
	11.0	<100

Anexo 6 – Análise microbiológica dos chorumes não tratados e respetivos tratamentos, aplicados nas duas coberturas no ensaio em vasos.

Tratamentos	<i>E. coli</i> (UFC/g)
BrS3	10 ⁴
AcS3	< 100
AlS3	< 100
NeS3	< 100
BrS4	10 ⁵
AcS4	10 ⁴
AlS4	< 100
NeS4	<100

Anexo 7 – Resultados da análise microbiológica das alfaces, facultados pelo Laboratório de Microbiologia do ISA.

Modalidades	<i>E. coli</i> (UFC/g)
Controlo (CT)	Alface 1
	Alface 2
	Alface 3
Controlo Mineral (CM)	Alface 4
	Alface 5
	Alface 6
Chorume não tratado (Br)	Alface 7
	Alface 8
	Alface 9
Chorume Acidificado (Ac)	Alface 10
Chorume Alcalinizado (Al)	Alface 13
	Alface 14
	Alface 15
Chorume Alcalinizado seguido de Neutralização (Ne)	Alface 16
	Alface 17

Anexo 8 –Valores da concentração de micronutrientes nas alfaces no último dia do ensaio em vasos, por modalidade. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes ($P < 0,05$). Médias e desvio padrão de 3 repetições.

Nutrientes	Modalidades				
	CT	CM	Br	AI	Ne
Fe (g/kg) [ms]	0,1 ^b	0,2 ^a	0,2 ^{ab}	0,2 ^a	0,2 ^a
Cu (g/kg) [ms]	0,004 ^a	0,01 ^a	0,01 ^a	0,01 ^a	0,006 ^a
Zn (g/kg) [ms]	0,03 ^c	0,08 ^a	0,07 ^b	0,08 ^a	0,07 ^{ab}
Mn (g/kg) [ms]	0,05 ^c	0,2 ^a	0,2 ^{ab}	0,2 ^{ab}	0,2 ^b
B (g/kg) [ms]	0,01 ^c	0,01 ^c	0,03 ^b	0,03 ^a	0,03 ^a

Anexo 9 – Taxas de emissão de CH₄ (mg C vaso⁻¹ d⁻¹), por modalidade. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes (P < 0,05). Médias de 3 repetições.

Dias após aplicação da 1. ^a cobertura	Modalidades					
	CT	CM	Br	Ac	AI	Ne
1	0,02 ^{ab}	0,02 ^{ab}	0,004 ^b	0,005 ^b	0,008 ^{ab}	0,04 ^a
3	0,004 ^c	0,003 ^c	0,009 ^b	0,01 ^b	0,02 ^a	0,005 ^c
6	0,02 ^a	0,03 ^a	0,003 ^b	0,004 ^b	0,003 ^b	0,004 ^b
7	0,007 ^{bc}	0,02 ^a	0,002 ^c	0,004 ^c	0,01 ^b	0,006 ^{bc}
9	0,01 ^{ab}	0,003 ^c	0,005 ^{bc}	0,006 ^{abc}	0,01 ^a	0,007 ^{abc}
13	0,01 ^a	0,003 ^b	0,008 ^{ab}	-0,02 ^c	0,005 ^{ab}	0,01 ^{ab}
15	0,01 ^{ab}	0,009 ^{ab}	0,02 ^a	-0,009 ^b	0,003 ^{ab}	0,006 ^{ab}
17	0,008 ^b	0,01 ^a	0,003 ^c	0,004 ^{bc}	0,008 ^{ab}	0,004 ^{bc}
20	0,01 ^b	0,003 ^c	0,03 ^a	-0,02 ^d	0,01 ^{bc}	0,005 ^{bc}
23	0,005 ^{cd}	-0,01 ^d	0,007 ^{bcd}	0,02 ^{bc}	0,02 ^b	0,05 ^a
27	0,008 ^a	0,004 ^{bc}	0,003 ^{bc}	0,002 ^c	0,007 ^{ab}	0,003 ^{bc}
30	0,005 ^{bc}	0,03 ^a	0,04 ^a	0,02 ^{abc}	0,03 ^{ab}	0,003 ^c
31	0,001 ^c	0,01 ^{ab}	0,02 ^a	0,01 ^b	0,01 ^{ab}	0,02 ^a
34	0,04 ^a	-0,02 ^c	0,005 ^b	0,02 ^b	0,02 ^b	0,02 ^b
36	0,002 ^b	0,003 ^b	0,01 ^{ab}	-0,02 ^c	0,01 ^{ab}	0,02 ^a
38	-0,02 ^d	0,003 ^c	0,02 ^a	0,01 ^{bc}	0,01 ^b	0,01 ^b
43	0,01 ^a	0,007 ^b	0,01 ^a	0,002 ^c	0,003 ^c	0,002 ^c
50	0,03 ^{ab}	0,02 ^b	0,005 ^b	0,05 ^a	0,007 ^b	0,01 ^b

Anexo 10 – Taxas de emissão de N₂O (mg N vaso⁻¹ d⁻¹), por modalidade. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes (P < 0,05). Médias de 3 repetições.

Dias após aplicação da 1. ^a cobertura	Modalidades					
	CT	CM	Br	Ac	AI	Ne
1	0,001 ^b	0,003 ^{ab}	0,006 ^{ab}	0,004 ^{ab}	0,002 ^{ab}	0,007 ^a
3	0,003 ^b	0,004 ^b	0,02 ^a	0,002 ^b	0,007 ^b	0,004 ^b
6	0,004 ^b	0,005 ^b	0,01 ^a	0,002 ^b	0,004 ^b	0,009 ^a
7	0,003 ^{bc}	0,0004 ^c	0,03 ^a	0,005 ^{bc}	0,006 ^b	0,004 ^{bc}
9	0,004 ^c	0,005 ^c	0,03 ^a	0,004 ^c	0,02 ^b	0,005 ^c
13	0,002 ^d	0,005 ^{cd}	0,01 ^{bc}	0,01 ^b	0,01 ^b	0,03 ^a
15	0,00003 ^{ab}	-0,00001 ^c	0,00002 ^b	0,00002 ^b	0,00001 ^b	0,00004 ^a
17	0,006 ^{bc}	0,007 ^b	0,01 ^a	0,006 ^b	0,006 ^{bc}	0,004 ^c
20	0,003 ^c	0,005 ^c	0,008 ^b	0,01 ^a	0,009 ^b	0,01 ^{ab}
23	0,002 ^b	0,001 ^b	0,004 ^b	0,002 ^b	0,003 ^b	0,03 ^a
27	0,004 ^b	0,006 ^{ab}	0,004 ^b	0,005 ^b	0,008 ^a	0,006 ^{ab}
30	0,002 ^b	0,005 ^b	0,008 ^b	0,001 ^b	0,004 ^b	0,05 ^a
31	0,003 ^c	0,007 ^{bc}	0,009 ^{bc}	0,01 ^{abc}	0,03 ^{ab}	0,03 ^a
34	0,006 ^{ab}	0,004 ^b	0,006 ^{ab}	0,004 ^b	0,01 ^a	0,007 ^{ab}
36	0,002 ^b	0,002 ^b	0,006 ^{ab}	0,005 ^b	0,01 ^a	0,004 ^b
38	0,002 ^{bc}	0,002 ^c	0,004 ^b	0,013 ^a	0,003 ^b	0,002 ^{bc}
43	0,009 ^b	0,004 ^{ab}	0,005 ^{ab}	0,006 ^a	0,004 ^{ab}	0,007 ^a
50	0,001 ^d	0,01 ^a	0,006 ^b	0,003 ^c	0,002 ^{cd}	0,003 ^c

Anexo 11 – Taxas de emissão de NH₃ (mg N vaso⁻¹ h⁻¹), por modalidade. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes (P < 0,05). Médias de 3 repetições.

Tempo Acumulado (h)	Modalidades						
	CT	CM	Br	Ac	AI	Ne	AA
1,0	-0,06 ^d	-0,06 ^d	3,002 ^b	-0,02 ^d	6,3 ^a	1,14 ^c	-0,04 ^d
4,1	-0,01 ^d	-0,01 ^d	1,003 ^b	0,0003 ^d	1,9 ^a	0,6 ^c	-0,001 ^d
11,9	-0,005 ^d	-0,004 ^d	0,7 ^b	0,007 ^d	1,1 ^a	0,6 ^c	-0,01 ^d
19,4	-0,01 ^d	-0,001 ^d	0,7 ^b	-0,003 ^d	0,9 ^a	0,4 ^c	-0,007 ^d
23,2	-0,02 ^b	-0,02 ^b	1,01 ^a	-0,02 ^b	1,04 ^a	0,3 ^b	-0,01 ^b
26,3	-0,01 ^d	-0,007 ^d	0,5 ^a	-0,01 ^d	0,2 ^c	0,4 ^b	-0,01 ^d
34,5	-0,01 ^d	-0,004 ^d	0,4 ^b	-0,001 ^d	0,1 ^c	0,4 ^a	-0,004 ^d
43,5	0,003 ^c	0,003 ^c	0,4 ^a	0,01 ^c	0,2 ^b	0,4 ^a	0,004 ^c
47,3	0,03 ^c	0,03 ^c	0,6 ^a	0,04 ^c	0,4 ^b	0,6 ^a	0,03 ^c
50,02	0,01 ^c	0,01 ^c	0,3 ^b	0,02 ^c	0,3 ^a	0,3 ^b	0,01 ^c
58,5	0,008 ^c	0,01 ^c	0,2 ^b	0,01 ^c	0,3 ^a	0,2 ^b	0,01 ^c
68,2	0,01 ^c	0,01 ^c	0,2 ^b	0,03 ^c	0,4 ^a	0,2 ^b	0,01 ^c
72,4	0,04 ^d	0,03 ^d	0,4 ^b	0,1 ^c	0,5 ^a	0,4 ^b	0,03 ^d

Anexo 12 – % perdas de carbono sob a forma de CH₄, de azoto sob a forma de N₂O e NH₃ e perdas de NH₄⁺ sob a forma de NH₃, nas quatro modalidades onde foi aplicado chorume. Para cada linha, valores com letras diferentes são estatisticamente diferentes (P < 0,05).

	Br	Ac	Al	Ne
Emissão cumulativa CH₄ (mg C-CH₄)	0,53 ^a	0,31 ^b	0,49 ^a	0,56 ^a
Emissão cumulativa N₂O (mg N-N₂O)	0,43 ^b	0,27 ^d	0,37 ^c	0,55 ^a
Emissão cumulativa NH₃ (mg N-NH₃)	39,72 ^b	0,96 ^d	53,65 ^a	30,07 ^c
% carbono aplicado perdido na forma de CH₄	0,01	0,004	0,01	0,08
% azoto aplicado perdido na forma de N₂O	0,04	0,03	0,04	0,1
% azoto aplicado perdido na forma de NH₃	3,9	0,01	6,1	3,3
% NH₄⁺ aplicado perdido na forma de NH₃	13,2	0,3	17,9	10,02